

ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



A.E.I. Πειραιά Τ.Τ.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη απόδοσης φωτοβολταϊκού στέγης 10 KW»

ΤΟΣΚΑΣ ΡΩΜΑΙΟΣ

ΑΜ:41607

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΡΣΑΜΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ 2018

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	8
1.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	8
1.2 ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ.....	8
1.2.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ.....	9
1.2.2 ΕΚΠΟΜΠΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO ₂).....	9
1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	10
1.4 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΓΟΡΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ.....	10
1.5 ΕΠΑΦΗ p-n.....	12
1.5.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.....	13
1.6 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ.....	14
1.6.1 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.....	15
1.6.2 ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ.....	16
1.7 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ.....	18
1.8 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	21
1.8.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	25
2.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	25
2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	25
2.2.1 ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	26
2.3 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	27
2.3.1 ΘΕΡΜΟΚΑΣΙΑΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ.....	28
2.3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ.....	29
2.4 ΣΚΙΑΣΗ.....	29
2.5 ΓΗΡΑΝΣΗ ΥΛΙΚΟΥ.....	29
2.6 ΡΥΠΑΝΣΗ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ.....	31
2.7 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	31
2.8 ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΗΜΙΤΟΝΟΥ.....	33

2.8.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΩΝ ΕΠΟΧΩΝ	34
2.8.2 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΗΜΕΡΑΣ ΚΑΙ ΝΥΧΤΑΣ.....	35
2.8.3 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ & ΚΛΙΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	39
3.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ.....	39
3.1.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΝΕΛ	39
3.1.2 INVERTER.....	40
3.1.3 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ	42
3.2 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΝΕΡΑΤΖΑΣ	43
3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ.....	45
3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	45
3.4.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΕΙΣ ΔΕΗ	47
3.4.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΝΗΣΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ	48
3.5 ΓΕΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	49
3.5.1 ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ & ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	54
4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΤΩΝ ΑΝΑ ΜΗΝΑ	54
4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΑΣΤΟΤΕ ΕΤΟΥΣ	56
4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ Ν/Α & Ν/Δ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	57
4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ 40 & 35 ΜΟΙΡΩΝ.....	60
4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ & ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ.....	63

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή της σχολής μου Κ. Βαρσάμη, ο οποίος μου ανέθεσε και επέβλεψε τη παρούσα πτυχιακή εργασία και για όλες τις συμβουλές και την καθοδήγηση του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της. Θέλω επίσης να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την εργασία θα μελετήσουμε την απόδοση πραγματικής φωτοβολταϊκής εγκατάστασης σε οικία με μέγιστη ισχύ 10 KW. Θα γίνει σύγκριση της συνολικής απόδοσης για κάθε χρόνο. Σύγκριση θα γίνει και μεταξύ των πλαισίων με διαφορετικό προσανατολισμό αλλά και πλαισίων με διαφορετική κλίση με σύγκριση των τιμών σε βάθος χρόνου με σκοπό την επιλογή των βέλτιστων σημείων για την καλύτερη απόδοση του συστήματος.

Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στα προβλήματα που έχει ο πλανήτης σήμερα, έπειτα στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα, την αρχή λειτουργίας τους, την διαδικασία παραγωγής τους, την παγκόσμια αγορά στις μέρες μας και έπειτα ανάλυση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο μελετάμε τους παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή απόδοση του συστήματος και κάνουμε μια αναφορά σε αστρονομικά στοιχεία.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του συστήματος στο οποίο πραγματοποιείται η μελέτη, την διαδικασία που ακολουθεί μια τέτοια επένδυση και για τα μέσα προστασίας που χρειάζονται.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση όλων των μετρήσεων και εκφέρουμε τα συμπεράσματα μας και τις απόψεις μας για τα θέματα που τίθενται.

ABSTRACT

In this thesis we will study the performance of a real photovoltaic installation in a residence with a maximum power of 10 KW. We will compare the total performance for each year. A comparison will also be made between photovoltaic panels of different orientation and photovoltaic panels with different gradient by comparing the values over time in order to select the best points for the optimum performance of the system.

Initially, we make an introduction to the current problems of the planet, the advantages and disadvantages of photovoltaic systems, their operation, their production process, the global market today and the analysis of photovoltaic systems.

In the second chapter, we study the factors that affect the energy efficiency of the system and make a reference to astronomy elements.

In the third chapter, we analyze the system carried out in the study, the process that follows such an investment and the necessary means of protection.

Finally, in the fourth chapter we make a comparison between all measurements, we draw our conclusions and form our views on the issues raised.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο πληθυσμός του πλανήτη συνεχώς αυξάνεται, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι απαιτήσεις για ενέργεια και να καταναλώνονται τα ορυκτά καύσιμα, που δεν ξέρει κανείς με ακρίβεια πότε, αλλά το σίγουρο είναι ότι θα τελειώσουν. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα την ρύπανση του πλανήτη από την καύση των ορυκτών καυσίμων που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το λιώσιμο των πάγων, έχουν καταστροφικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία και άλλο ένα μεγάλο πρόβλημα είναι η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων που οι επόμενες γενιές αναγκαστικά θα τα στερηθούν. Η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων είναι μεγάλο πρόβλημα, διότι η χρήση τους δεν είναι μόνο για παραγωγή ενέργειας και θέρμανσης αλλά είναι και πηγή πρώτων υλών, που συμβάλουν στη δημιουργία πολλών υλικών αγαθών.

Για την αποφυγή της ρύπανσης του πλανήτη και την καθυστέρηση της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων, η λύση είναι να στραφούμε στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Σχεδόν όλες οι ΑΠΕ βασίζονται στην ηλιακή ενέργεια, η οποία είναι μια τεράστια πηγή ενέργειας. Με την σωστή εκμετάλλευση θα ήταν ικανή να καλύψει όλες τις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις. Το κύριο χαρακτηριστικό των ΑΠΕ είναι ότι δεν μπορούν να εξαντληθούν, αφού υπάρχουν σε αφθονία στη φύση και δεν τίθεται θέμα ρύπανσης του πλανήτη.

Στην παρούσα εργασία θα αναλύσουμε αυτά τα προβλήματα και θα μελετήσουμε την απόδοση μιας πραγματικής εγκατάστασης με φωτοβολταϊκά σε στέγη ισχύος 10kW, με διασύνδεση στη ΔΕΗ.

Αρχικά θα εξηγήσουμε την αρχή λειτουργίας των φωτοβολταϊκών και έπειτα θα αναλύσουμε σε θεωρητικό επίπεδο τους παράγοντες επιρροής της ενεργειακής απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Στην πορεία θα δούμε τα μέρη που αποτελείται η εγκατάσταση μας και στο τέλος θα μελετήσουμε τις μετρήσεις μας.

Η μελέτη θα γίνει σε βάθος 7 ετών με πληθώρα μετρήσεων και θα πραγματοποιήσουμε διάφορες συγκρίσεις μεταξύ τους για να καταλήξουμε σε συμπεράσματα που αποσκοπούν στο να δούμε σε ποιες περιπτώσεις έχει καλύτερη απόδοση ένα τέτοιο σύστημα και κατά πόσο είναι κερδοφόρα μια τέτοια επένδυση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το ενεργειακό πρόβλημα, μαζί με το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος, έχουν μεγάλη σημασία και η επίλυση τους είναι σημαντικό θέμα σε παγκόσμιο επίπεδο. Το ενδιαφέρον που υπάρχει για τον περιορισμό των συμβατικών καυσίμων, εντείνεται από την παράλληλη προσπάθεια της μείωσης των ρύπων που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, καθώς και των αερίων θερμοκηπίου όπου θεωρούνται ως δυνάμει παράγοντες πιθανής κλιματικής αλλαγής. Για τους παραπάνω λόγους εδώ και μερικές δεκαετίες, αλλά κυρίως τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται οι ΑΠΕ.

Ως Ανανεώσιμες (ή Ήπιες) Πηγές Ενέργειας θεωρούμε τις πηγές που υπάρχουν σε αφθονία στην φύση και δεν υπάρχει ο κίνδυνος εξάντλησης. Τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι δυο. Πρώτον, για την εκμετάλλευσή τους δεν χρειάζεται καμία παρέμβαση όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση και δεύτερον είναι φιλικές προς το περιβάλλον, χωρίς να αποβάλουν κάποια τοξική ή ραδιενεργή ουσία. Οι κύριες μορφές τους είναι η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η βιομάζα, η γεωθερμική ενέργεια, η υδροηλεκτρική και η ενέργεια των ωκεανών.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας, πλην της γεωθερμικής όπου είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό της γης, βασίζονται κυρίως στην ηλιακή ενέργεια. Η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εξαρτάται από την κίνηση των ανέμων έπειτα από την θέρμανση τους από τον ήλιο, ενώ όσες έχουν σχέση με το νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του.

1.2 ΟΡΥΚΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

Τα ορυκτά καύσιμα προέρχονται από αναερόβια αποσύνθεση νεκρών θαμμένων οργανισμών, οι οποίοι εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις στο εσωτερικό της γης. Για να σχηματίζονται τα ορυκτά καύσιμα από τους νεκρούς αυτούς οργανισμούς χρειάζονται από μερικά εκατομμύρια μέχρι 650 εκατομμύρια χρόνια. Ως ορυκτά καύσιμα θεωρούμε το κάρβουνο, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γιατί χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για να σχηματιστούν και έτσι εξαντλούνται με πολύ ταχύτερο ρυθμό από τον ρυθμό με τον οποίο σχηματίζονται. Εκτιμάται πως η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων το 2007 ήταν κατά 36% πετρέλαιο, 27,4% κάρβουνο και 23% φυσικό αέριο και καλύπτουν το 86% των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως. Από την καύση των ορυκτών καυσίμων παράγονται πολλά εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα. Από αυτή την ποσότητα η μισή απορροφάται από την βιόσφαιρα της γης και η υπόλοιπη παραμένει στον ατμοσφαιρικό αέρα. Το συγκεκριμένο αέριο θεωρείται το κύριο αέριο που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.2.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η πληθυσμιακή αύξηση μαζί με την προσπάθεια βελτίωσης της ποιότητας ζωής του ανθρώπου, έχει σαν αποτέλεσμα να καταναλώνονται με γρήγορους ρυθμούς μεγάλες ποσότητες ορυκτών καυσίμων, που για την δημιουργία τους χρειάστηκαν πολλές χιλιάδες χρόνια.

Σήμερα το 75% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από ορυκτά καύσιμα, όπου η κατανάλωση τους είναι εκατό χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από τον χρόνο που χρειάζεται για να δημιουργηθούν ξανά. Δεν μπορεί κανείς να ξέρει με σιγουριά πότε θα τελειώσουν, διότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες επιρροής, αλλά είναι σίγουρο ότι θα εξαντληθούν.

Οι συνέπειες θα είναι ιδιαίτερα δυσάρεστες, δεδομένου ότι το πετρέλαιο δεν αποτελεί μόνο πηγή ενέργειας, αλλά και πρώτη ύλη στην φαρμακευτική και χημική βιομηχανία, δηλαδή χρειάζεται για πολλά υλικά αγαθά της καθημερινότητας μας όπως πλαστικά, απορρυπαντικά, παιχνίδια, λάστιχα, κόλες, άσφαλο κτλ. Η σπατάλη των ήδη περιορισμένων ορυκτών καυσίμων αποτελεί ανευθυνότητα για επόμενες γενιές που αναγκαστικά θα τα στερηθούν.

1.2.2 ΕΚΠΟΜΠΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (CO₂)

Με την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως είναι το πετρέλαιο, το κάρβουνο και η βενζίνη, έχουμε εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Το συγκεκριμένο αέριο δεν είναι φιλικό ούτε για τον ανθρώπινο οργανισμό, καθώς χρόνια έκθεση σε αυτό έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, αλλά ούτε και για τη Γη, καθώς θεωρείται πως με την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα επέρχεται αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Κάτι τέτοιο μπορεί να μην είναι επιστημονικά αποδεδειγμένο, ότι δηλαδή η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει και τη στάθμη των ωκεανών, αλλά δεν έχει αποδειχθεί ακόμα το αντίθετο. Συνεπώς λοιπόν, ως δεδομένο ότι αυτό ισχύει, δημιουργείται μεγάλο πρόβλημα στη στάθμη των ωκεανών και, κατ' επέκταση, στις χώρες και τα νησιά που βρίσκονται ήδη κοντά στο όριο της στάθμης της θάλασσας.

Στην Ευρώπη τα νοικοκυριά και ο τριτογενής τομέας είναι οι σημαντικότεροι τομείς κατανάλωσης της τελικής ενέργειας σε απόλυτες τιμές (40%). Στην Ελλάδα αν και δεν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις θέρμανσης λόγω ήπιων χειμώνων, τα νοικοκυριά και ο τριτογενής τομέας καλύπτουν το 37% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 7%. Αν σκεφτούμε ότι στα κτίρια αναλογεί το 50% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, που είναι το κύριο αέριο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου, καταλαβαίνουμε πόσο σημαντική είναι η αντικατάσταση της παραγωγής ενέργειας με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Το μεγαλύτερο μέρος παγκοσμίως στην εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα κατέχουν η Κίνα με τις Η.Π.Α. με συνολικό ποσοστό 42%. Να σημειώσουμε ότι για ένα μεγάλο

μέρος της ετήσιας εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα ευθύνονται οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι οποίες απελευθερώνουν ετησίως περίπου 130 με 230 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 1kW παράγει έως και 1500 kWh ανά έτος (ανάλογα βέβαια με την ηλιοφάνεια της εκάστοτε περιοχής) και αποτρέπει κάθε χρόνο την έκβαση 1600 κιλών διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους. Για τη μείωση των τεραστίων αυτών ποσών πρέπει να λάβουν δράση άμεσα οι κυβερνήσεις όλων των κρατών, κυρίως των οικονομικά ανεπτυγμένων και να στρέψουν την προσοχή τους σε νέους τρόπους παραγωγής ενέργειας, φιλικούς προς το περιβάλλον.

1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα βασικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα εξής:

- Είναι ανεξάντλητα, αντίθετα με τα ορυκτά καύσιμα.
- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον.
- Μπορούν να βοηθήσουν στην ενεργειακή αυτονομία και ανεξαρτησία σε εθνικό επίπεδο.
- Υπάρχει ευελιξία ως προς την τοποθεσία εφαρμογής, έτσι ώστε να μην χρειάζονται τεράστιες μονάδες παραγωγής, συνεπώς καλύπτονται οι ανάγκες σε ύπαιθρο και νησιά, ενώ παράλληλα μειώνονται οι αποστάσεις μεταφοράς ενέργειας, άρα και οι απώλειες.
- Έχουν απλότητα κατασκευής, χαμηλό κόστος συντήρησης και μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Πολλές κυβερνήσεις κάνουν επιδοτήσεις, άρα έχουμε επενδύσεις και παράλληλα ανοίγουν θέσεις εργασίας βοηθώντας έτσι την οικονομία της χώρας.

Ενώ τα μειονεκτήματα είναι :

- Χαμηλός συντελεστής απόδοσης της τάξεως του 10-22%.
- Μεγάλο αρχικό κόστος επένδυσης, σε σχέση με τις τιμές των συμβατικών καυσίμων.
- Χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας, άρα για μεγάλη παραγωγή χρειάζεται μεγάλη έκταση εγκατάστασης.
- Μεγάλη διακύμανση απόδοσης ανάλογα την εποχή και το κλίμα της περιοχής.

1.4 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΓΟΡΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά και η ηλιακή ενέργεια κυρίως αναπτύχθηκαν την τελευταία δεκαπενταετία. Η Ευρώπη είχε σημαντικό προβάδισμα με σχεδόν το 70% των

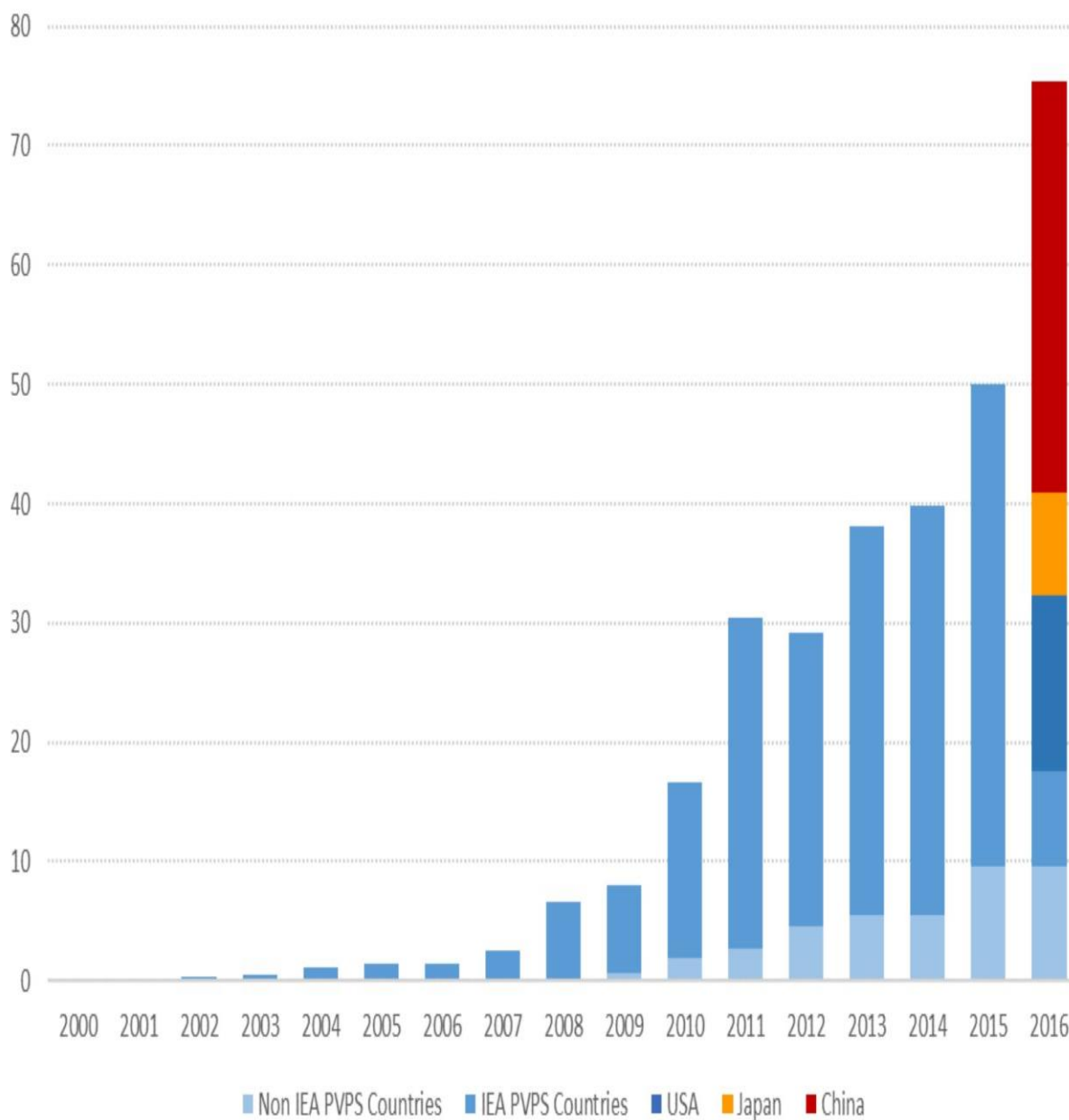
εγκαταστάσεων και ύστερα οι υπόλοιπες ήπειροι με μεγάλη διαφορά. Παρακάτω βλέπουμε την εγκατεστημένη ισχύ για κάθε χρόνο από το 2000. Από το 2004 μέχρι το 2009 η εγκατεστημένη ισχύ για κάθε χρόνο ήταν ανάμεσα στα 1,1 έως τα 8 GW. Η ραγδαία ανάπτυξη άρχισε το 2010, με εγκατεστημένη ισχύ για εκείνη τη χρονιά 17,2 GW. Πρωταγωνίστριες μέχρι τότε ήταν η Ευρώπη και η Αμερική.

Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς για το 2015 ήταν 50 GW, από περίπου 40 GW τα δύο προηγούμενα έτη. Τα 75 GW που προστέθηκαν το 2016 ήταν ένα ρεκόρ, με πρωταγωνίστρια την Κίνα που εγκατέστησε τα 34,2 GW. Σύμφωνα με την IEA PVPS (International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme), μετά το πρόγραμμα επιδότησης της Κίνας το 2016 τα πράγματα άλλαξαν, φέρνοντας την συνολική εγκατεστημένη παγκόσμια φωτοβολταϊκή χωρητικότητα σε τουλάχιστον 303GW. Στην Ευρώπη πρωτοπόρες στην συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ το 2015 ήταν η Γερμανία με 18% και η Ιταλία με 8%.

Στην Ελλάδα το 5% της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από φωτοβολταϊκά. Σύμφωνα με το Σύνδεσμο Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) η συνολική εγκατεστημένη ισχύ μέχρι το 2017 περίπου 2,6 GW, ενώ παρήχθησαν περίπου 4 TWh ενέργειας για την ίδια χρονιά. Από το 2013 και μετά οι εγκαταστάσεις για κάθε χρόνο ήταν σχεδόν μηδαμινές. Η Ελλάδα είναι στις κορυφαίες χώρες στον κόσμο, όσο αφορά την ανά κάτοικο εγκατεστημένη ισχύ φωτοβολταϊκών και μαζί με τα προγράμματα επιδότησης της χώρας μέχρι το 2013 επενδύθηκαν 4,5 δις ευρώ, πράγμα που ωφέλησε πολύ την οικονομική κατάσταση της χώρας και την μείωση της ανεργίας.

Παρατηρούμε πολύ μεγάλες αυξήσεις κάθε χρόνο με αποτέλεσμα η παγκόσμια κάλυψη αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά να έχει φτάσει στο 1,8%. Με τόσο γοργούς ρυθμούς ανάπτυξης προβλέπεται μέχρι σε λίγα χρόνια η συνολική παγκόσμια φωτοβολταϊκή εγκατεστημένη ισχύ να φτάσει το 1 TW.

FIGURE 1: EVOLUTION OF ANNUAL PV INSTALLATIONS (GW - DC)



Εικόνα1.1: Παγκόσμια αγορά φωτοβολταϊκών

1.5 ΕΠΑΦΗ p-n

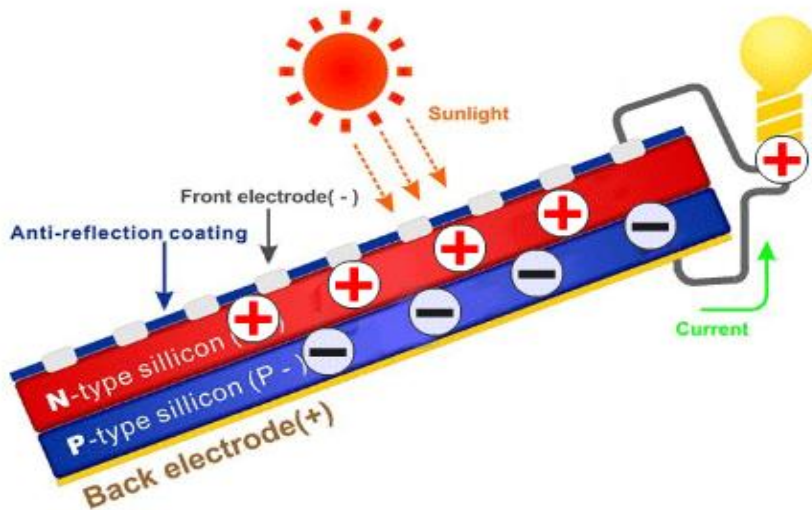
Για να καλυφθούν φωτοβολταϊκές και διάφορες άλλες εφαρμογές, οι κρυσταλλικοί ημιαγωγοί θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό τους

πλέγμα να μην έχει αταξίες δομής. Τα άτομα των ημιαγωγίμων υλικών, συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς οι οποίοι είναι πιθανό να σπάσουν υπό την επίδραση της ακτινοβολίας ή μεγάλης θερμοκρασίας, οπότε απελευθερώνονται ηλεκτρόνια (αρνητικοί φορείς n) και αφήνουν ελεύθερες θέσεις, τις οπές (θετικοί φορείς p). Χάρη της ασυμμετρίας που έχουν οι δύο περιοχές στη συγκέντρωση ηλεκτρονίων και οπών ενεργοποιείται στην περιοχή της επαφής τους το φαινόμενο της διάχυσης και έτσι τα πλεονάζοντα ηλεκτρόνια από την περιοχή n να μεταφέρονται προς την περιοχή p με συνέπεια την ανάπτυξη μιας περιοχής στον ημιαγωγό n κοντά στην επαφή p - n όπου είναι αυξημένο το θετικό φορτίο. Αντίθετα οι πλεονάζουσες οπές από την περιοχή p να μεταφέρονται στην περιοχή n με αποτέλεσμα σε ένα τμήμα του ημιαγωγού p κοντά στην επαφή p - n να επικρατεί αρνητικό φορτίο. Όλη αυτή η δυναμική ισορροπία συγκέντρωσης φορτίων ηλεκτρονίων και οπών, γύρω από την επαφή p - n , αναπτύσσεται χωρίς την επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας. Ακόμα και αν οι δύο ημιαγωγοί n και p συνδεθούν με έναν αγωγό δεν θα εμφανισθεί ρεύμα.

Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η ανάπτυξη στην περιοχή της επαφής p - n ενός εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου με κατεύθυνση από την περιοχή n προς την περιοχή p . Λόγω της ανάπτυξης αυτού του εσωτερικού ηλεκτροστατικού πεδίου, το φαινόμενο της διάχυσης δεν μπορεί να συνεχιστεί αφού όπως ξέρουμε από την φυσική τα ηλεκτρόνια κινούνται αντίθετα από τη φορά του πεδίου ενώ τα θετικά φορτία πηγαίνουν μαζί με την κατεύθυνση του πεδίου. Με αυτό τον τρόπο έχουμε κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Η διάταξη ημιαγωγών που αποτελείται από μία ένωση p - n και από μία ηλεκτρική σύνδεση στο κάθε τμήμα της ονομάζεται δίοδος.

1.5.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, δηλαδή μια δίοδο που αποτελείται από τους ημιαγωγούς τύπου n και τύπου p . Οι φορείς πλειονότητας στις περιοχές n και p είναι τα ηλεκτρόνια και οι οπές αντίστοιχα. Όταν ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή φωτόνια με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού, προσπίπτουν πάνω στο στοιχείο, ένα μέρος της θα ανακλαστεί, ένα μέρος θα το διαπεράσει και ένα μέρος θα απορροφηθεί. Από την ακτινοβολία που θα απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό θα ελευθερωθεί ένα ηλεκτρόνιο και έτσι θα έχουμε τη δημιουργία ενός ζεύγους φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές) πέρα από τις συγκεντρώσεις που έχουμε σε συνθήκες ισορροπίας. Οι φορείς αυτοί θα κυκλοφορούν στο στερεό, και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου πρόσημου, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή ένωσης p - n και να δεχτούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου. Όπως ξέρουμε το ρεύμα δεν είναι τίποτα άλλο παρά ροή ηλεκτρονίων. Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς τα εμπρός και οι οπές προς τα πίσω, οπότε έχουμε διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της δίοδου, δηλαδή το στοιχείο μας αποτελεί πηγή ρεύματος όσο διαρκεί η ακτινοβολία. Το ρεύμα αυτό εξαρτάται από την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και του εμβαδού της επαφής των δύο ημιαγωγών της διάταξης.



Εικόνα 1.2: Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

1.6 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Με τη βοήθεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε συνεχές ρεύμα. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούνται ημιαγωγιμα υλικά. Το υλικό που χρησιμοποιείται κατά κόρον για την παραγωγή τους είναι το πυρίτιο, που μπορεί να βρεθεί πολύ εύκολα στη φύση, αφού είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον κόσμο μετά το οξυγόνο.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από κατάλληλα επεξεργασμένα κελιά (SolarCells) διαφόρων μεγεθών, τα οποία βρίσκονται πολύ καλά κλεισμένα αεροστεγώς, έτσι ώστε να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν (π.χ. βροχές). Το μπροστινό μέρος του πλαισίου προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί. Εσωτερικά τα στοιχεία του συνδέονται σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα την επιθυμητή τάση και ένταση που θέλουμε να πετύχουμε. Το πάχος όλης της κατασκευής είναι περίπου 5 εκατοστά και το πίσω μέρος του πλαισίου συνήθως είναι από αλουμίνιο. Κατασκευαστικά χρειάζονται σχεδόν μηδενική συντήρηση και η διάρκεια ζωής τους μπορεί να διαρκέσει μέχρι και τριάντα χρόνια.

Προκειμένου να επιτευχθεί όσον το δυνατό περισσότερη ισχύς εξόδου έχουν κατασκευαστεί στηρίγματα φωτοβολταϊκών πλαισίων με μηχανισμό κίνησης, τα οποία μπορούν να ακολουθούν τον ήλιο. Χωρίζονται σε δύο είδη:

- Ανιχνευτής ενός άξονα, ο οποίος ακολουθεί τον ήλιο από την ανατολή μέχρι τη δύση κατά την διάρκεια της ημέρας.

- Ανιχνευτής δύο αξόνων, ο οποίος ακολουθεί τον ήλιο από την ανατολή μέχρι τη δύση κατά την διάρκεια της ημέρας, αλλά και από τον βορρά μέχρι τον νότο κατά την διάρκεια των εποχών του έτους.

Αυτή η άμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθιστά τα φωτοβολταϊκά σαν μία από τις πλέον κατάλληλες τεχνολογίες για την κάλυψη των αναγκών απομακρυσμένων περιοχών. Η ενέργεια αυτή μπορεί είτε να αποθηκευτεί σε μπαταρίες είτε να χρησιμοποιηθεί άμεσα. Για την άμεση εκμετάλλευση της ενέργειας απαιτείται να μετατρέψουμε το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο, μέσω ενός μετατροπέα (inverter), αφού οι περισσότερες οικιακές συσκευές και το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, λειτουργούν με αυτό.

1.6.1 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Όπως γνωρίζουμε ο ημιαγωγός που χρησιμοποιείται κατά κόρον, σε διάφορες ηλεκτρονικές εφαρμογές αλλά και στα φωτοβολταϊκά συστήματα, είναι το πυρίτιο. Αν και υπάρχει σε αφθονία στη φύση, οι διαδικασίες για την παραγωγή του πυριτίου είναι εξαιρετικά ενεργοβόρες και χρονοβόρες και αυτό συμβάλει στην υψηλή τιμή που έχουν στην αγορά τους τα φωτοβολταϊκά.

Η διαδικασία ξεκινάει με την αφαίρεση των προσμίξεων, το διοξείδιο του πυριτίου θερμαίνεται στους 1800 °C παρουσία άνθρακα. Από αυτή τη διαδικασία το πυρίτιο που προκύπτει είναι μεταλλουργικό και η καθαρότητα του αγγίζει το 98%, οπότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανική μεταλλουργία, αλλά είναι ακόμα ακατάλληλο ως ημιαγωγός, για αυτό και απαιτείται περαιτέρω διαδικασία. Αρχικά γίνεται ανάτηξη και στη συνέχεια αντίδραση με υδροχλωρίο (HCl) μετατρέποντας το μεταλλουργικό πυρίτιο σε τριχλωροσιλάνιο (SiHCl₃) που είναι ένα πτητικό υγρό. Στη συνέχεια ξεχωρίζεται από άλλες προσμίξεις μέσω κλασματικής απόσταξης (μέθοδος Siemens). Έπειτα ανάγεται με υδρογόνο και συμπυκνώνεται, αλλά δεν έχει ακόμα την επιθυμητή δομή.

Ακολουθεί η κρυσταλλική ανάπτυξη του πυριτίου συνήθως με την μέθοδο Czochralski, κατά την οποία αρχικά τήκεται μέσα σε ένα κυλινδρικό δοχείο σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 1400 °C. Έπειτα ένα πολύ μικρό κομμάτι κρυσταλλικού πυριτίου τοποθετείται σε επαφή με την επιφάνεια του λιωμένου πυριτίου, ενώ το κυλινδρικό δοχείο βρίσκεται σε περιστροφική κίνηση. Το κομμάτι πυριτίου δρα σαν πυρήνας κρυστάλλωσης και έτσι το πυρίτιο επικάθεται σε αυτό με αποτέλεσμα να μεγαλώσει και να σχηματισθεί σταδιακά ένας νέος μεγάλος κρύσταλλος πυριτίου με την συνεχή ανύψωση από το λιωμένο πυρίτιο. Αποτέλεσμα της μεθόδου είναι το πυρίτιο να αποκτήσει μια κυλινδρική μορφή με διάμετρο περίπου 10 cm και μήκους 1m. Εν συνεχεία ο κύλινδρος αυτός πρέπει να κοπεί σε πολύ λεπτούς δίσκους (κυλινδρικές πλάκες), πάχους που κυμαίνεται από 150μm μέχρι 500μm για τις ηλιακές εφαρμογές. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά δαπανηρή, αφού το πυρίτιο είναι πολύ σκληρό υλικό και επιπλέον ένα μεγάλο ποσοστό χάνεται κατά την κοπή, που φτάνει μέχρι και το 50%. Μια μέθοδος κοπής, που μειώνει κάπως τις παραπάνω απώλειες, στηρίζεται στη κοπή με πολύ λεπτή διαμαντένια ίνα. Οι δίσκοι έπειτα λειαίνονται για την απομάκρυνση των

ελαττωμάτων της κοπής και διαμορφώνονται σε διόδους τύπου-p ή τύπου-n με επίταξη, διάχυση ή εμφύτευση προσμίξεων.

Το τελικό στάδιο είναι η συγκόλληση των ηλεκτροδίων στην εμπρός και πίσω όψη του δίσκου, η αλληλοσύνδεση των έτοιμων πια στοιχείων, η κάλυψη της εμπρός επιφανείας τους με ένα αντιανακλαστικό επίστρωμα για την μείωση της ανάκλασης του φωτός και η στεγανή συσκευασία σε πλαίσια. Το τελικό προϊόν είναι ένα υψηλής καθαρότητας πυρίτιο (με συγκέντρωση προσμίξεων μικρότερη από 1 άτομο ανά 10¹² άτομα Si).

1.6.2 ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

Οι πιο συνήθεις τύποι φωτοβολταϊκών που υπάρχουν στην αγορά είναι :

- **Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου (cs-Si)**

Αποτελούνται από μεγάλους κρυστάλλους στη σύστασή του. Το μέγεθος των κρυστάλλων εξαρτάται από τον τρόπο που ψύχθηκε το πυρίτιο, όσο μεγαλύτερος ο χρόνος ψύξης τόσο μεγαλύτερο το μέγεθος τους. Το υλικό παράγεται σαν στερεό κομμάτι όπου απάγεται από την τηγμένη πρώτη ύλη. Το χρώμα των στοιχείων από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο είναι συνήθως είναι γαλάζιο ή μπλε. Η απόδοσή τους είναι της τάξεως του 15-17 %.



Εικόνα 1.3: Φωτοβολταϊκό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου (cs-Si)

- **Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου(ms-Si)**

Είναι ο πιο ευρέως διαδεδομένος τύπος φωτοβολταϊκού. Η μορφή τους είναι κοκκοειδής και το μέγεθος των κρυστάλλων εξαρτάται από τον τρόπο που ψύχθηκε το πυρίτιο. Το υλικό παράγεται σαν στερεό κομμάτι, ή σε σχήμα κορδέλας όπου απάγεται από την τηγμένη πρώτη ύλη, ή με το βρασμό του πυριτίου και την συγκέντρωση των ατμών

πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια. Το χρώμα τους είναι γαλάζιο με ανοιχτόχρωμες άσπρες κηλίδες. Αυτή η μέθοδος έχει μικρότερη απόδοση, της τάξεως του 14-16 %, αλλά στοιχίζει λιγότερο σε σχέση με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο για αυτό και έχει επικρατήσει στην αγορά.



Εικόνα 1.4: Φωτοβολταϊκό στοιχείο Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (ms-Si)

- **Άμορφο Πυρίτιο(a-Si)**

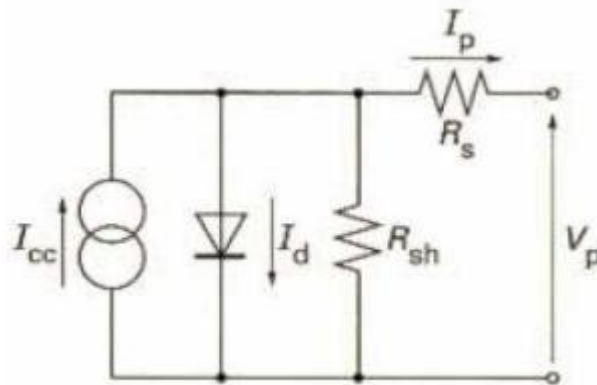
Καθαρό πυρίτιο χωρίς κρυσταλλική δομή, όπου τα άτομα του στο στερεό είναι τυχαία τοποθετημένα. Για παράδειγμα το γυαλί είναι άμορφο και όχι κρυσταλλικό. Αποτελείται από λεπτά φιλμ σαν μεμβράνες από άμορφο πυρίτιο και απορροφάνε την ηλιακή ακτινοβολία κατά 40% περισσότερο από ότι τα ΦΒ μονοκρυσταλλικού πυριτίου, για αυτό το λόγο το πάχος των επιφανειών τους είναι μόνο $1\mu\text{m}$ (10^{-6} cm), άρα χρησιμοποιείται λιγότερο υλικό, και έτσι αποφεύγεται η κρυσταλλοποίηση. Είναι πολύ φθηνά στην κατασκευή τους και έχουν χαμηλότερο κόστος στην αγορά. Χάρη στο μικρό τους μέγεθος μπορούν να τοποθετηθούν πολύ εύκολα σε στέγες, αντί για κεραμίδια ταιριάζοντας ακόμα και το χρώμα τους. Όμως οι αποδόσεις τους είναι μικρές ακόμα, της τάξεως του 9-11% . Η συμπεριφορά τους είναι πολυσύνθετη και οι βασικές γνώσεις περιορισμένες. Χρησιμοποιείται συχνά για την τροφοδοσία μικρών συσκευών όπου απαιτούνται μικρά ποσά ενέργειας. Η μελλοντική αύξηση της απόδοσης και της σταθερότητας τους μπορεί να κάνει την κατασκευή τους συμφέρουσα και για μεγαλύτερες κατασκευές.



Εικόνα 1.5: Φωτοβολταϊκό στοιχείο Άμορφου πυριτίου (a-Si)

1.7 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο λειτουργεί στην πραγματικότητα σαν μια δίοδος, δηλαδή ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα που επιτρέπει την διέλευση του ρεύματος προς μια κατεύθυνση όταν η άνοδος (περιοχή πρόσμιξης p) έχει θετικό δυναμικό, με ορθή τάση πόλωσης συνήθως 0,5V και η κάθοδος (η περιοχή πρόσμιξης n) έχει αρνητικό δυναμικό και εμποδίζει την διέλευση του ρεύματος προς την αντίθετη κατεύθυνση. Άλλο χαρακτηριστικό της διόδου είναι η τάση διάσπασης, μια τυπική τάση διάσπασης είναι 12-50 V ανάλογα το είδος και την ποιότητα του υλικού του στοιχείου, που αν ξεπεραστεί υπάρχει ο κίνδυνος της καταστροφής του. Το ηλεκτρικό ισοδύναμο ενός ηλιακού στοιχείου απεικονίζεται παρακάτω:



Σχήμα 1.1: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα

Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στην κυψέλη, τότε όπως έχει αναφερθεί, η ενέργεια των φωτονίων δημιουργεί φορτισμένους φορείς. Μία κυψέλη η οποία δέχεται ηλιακή ακτινοβολία έχει σαν ισοδύναμο κύκλωμα μία δίοδο παράλληλα τοποθετημένη στην πηγή ρεύματος I_{cc} . Αυτή η πηγή ρεύματος παράγει το φωτοηλεκτρικό ρεύμα ή αλλιώς φωτορεύμα. Το ρεύμα εξαρτάται γραμμικά από την πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κυψέλη. Η χαρακτηριστική καμπύλη της διόδου μετατοπίζεται προς τα κάτω ανάλογα με το μέγεθος του φωτορεύματος.

Επειδή στις φωτοβολταϊκές κυψέλες έχει παρατηρηθεί μια πτώση τάσης όταν οι φορτισμένοι φορείς μετακινούνται από το υλικό του ημιαγωγού προς τις επαφές, προστίθεται σε σειρά μια αντίσταση R_S της τάξης των $m\Omega$, ενώ η παράλληλη αντίσταση R_{Sh} αντικατοπτρίζει τα ρεύματα διαρροής και είναι της τάξης των 10Ω . Στα άκρα των στοιχείων λοιπόν παίρνουμε τάση V_P και ρεύμα I_P το οποίο υπολογίζουμε με την παρακάτω εξίσωση:

$$I_P = I_{CC} - I_S * \left(e^{\frac{V_P + I_P * R_S}{k * T / q}} - 1 \right) - \frac{V_P + I_P * R_S}{R_{Sh}}$$

Όπου: I_{CC} , η πηγή ρεύματος εξαρτώμενη από την ηλιακή ακτινοβολία

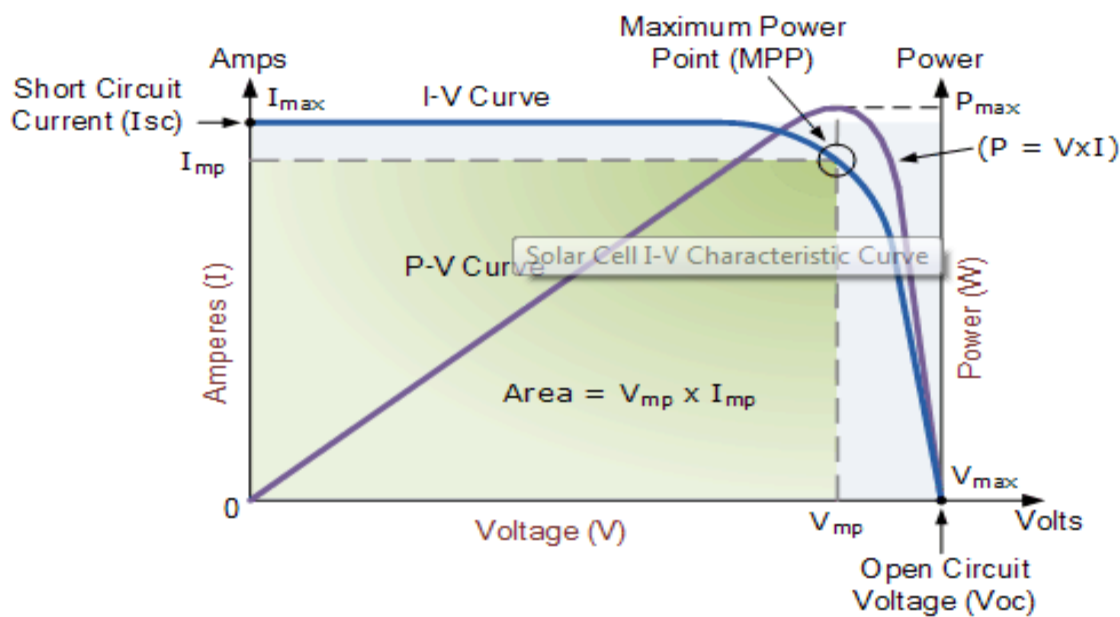
T , η θερμοκρασία σε K

$k = 1,38 * 10^{-23}$ J/K (Σταθερά Boltzmann)

$q = 1.6 * 10^{-19}$ C (φορτίο ηλεκτρονίου)

I_S , ρεύμα της τάξης των nA , (εγγενές χαρακτηριστικό κάθε διόδου)

Παρακάτω θα δούμε την χαρακτηριστική καμπύλη $I_P = f(V_P)$:



Σχήμα 1.2: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V&P-V

Τα χαρακτηριστικά της καμπύλης ενός στοιχείου κρυσταλλικού πυριτίου είναι:

-Τάση ανοιχτοκύκλωσης ($I_P = 0$ A) $V_{OC} = 0.6$ V (ισχύς $P = 0$ W)

-Ρεύμα βραχυκύκλωσης ($V_P = 0$ V) $= I_{CC}$ (μεταβλητό ανάλογα με την ακτινοβολία, ισχύς $P = 0$ W)

-Τάση φόρτισης $V_{mp} = 0.5$ V στο σημείο λειτουργίας όπου η ισχύς μεγιστοποιείται

-Ρεύμα I_{mp} (μεταβλητό ανάλογα με την ακτινοβολία) στο σημείο λειτουργίας όπου η ισχύς μεγιστοποιείται

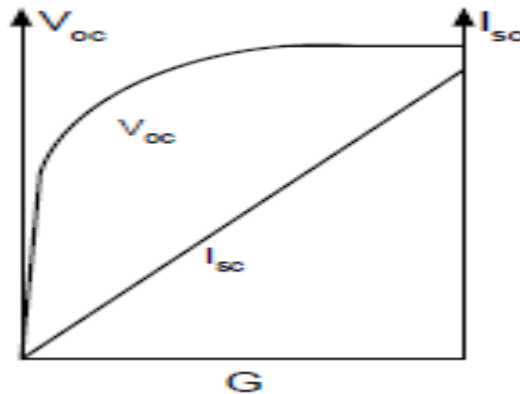
-Μέγιστη ισχύς : $P_{mp} = I_{mp} \times V_{mp}$

Αξίζει να σημειωθεί πως, μεταβάλλοντας την τάση V_{mp} από 0 ως V_{OC} (ή I_{mp} από 0 έως I_{CC}), η ισχύς ξεκινά από 0W για να φτάσει το μέγιστο P_{max} , ενώ μετά κινείται πάλι προς τα 0W.

- Η τάση ανοιχτοκύκλωσης V_{OC} είναι η μέγιστη τάση που μπορεί να φτάσει το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της επαφής p-n, όπως το είδος του υλικού, την συγκέντρωση προσμείξεων, τη θερμοκρασία και την ισχύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αρχικά όσο αυξάνει η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνει και η τάση, ενώ στη συνέχεια παραμένει σχεδόν ανεξάρτητη για μεγαλύτερα ποσά προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Μαθηματικά η σχέση τάσης-ακτινοβολίας είναι λογαριθμική όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα σύμφωνα με τη σχέση:

$$V_{OC} = \frac{A * k * T}{q} * \ln\left(\frac{I_{CC}}{I_0}\right)$$

Όπου: I_0 το ανάστροφο ρεύμα κόρου(είναι το ρεύμα που οφείλεται σε θερμική διέγερση του ημιαγωγού και λαμβάνει μερικά μA), A ένας συντελεστής που ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα της διόδου παίρνει συνήθως τιμές μεταξύ 1 και 2.



Σχήμα 1.3: Χαρακτηριστική καμπύλη V-G & I-G

-Ένα άλλο χαρακτηριστικό που αντικατοπτρίζει την ποιότητα του συστήματος είναι ο παράγοντας πλήρωσης (Fill Factor-FF). Περιγράφει την ιδανική λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου ως πηγή σταθερού ρεύματος και οι τιμές του καθορίζονται από το είδος του υλικού και τις συνθήκες. Για ιδανική συμπεριφορά ως πηγή σταθερού ρεύματος πρέπει το FF να φτάσει την μονάδα, στην περιοχή 0- V_{OC} . Μια μέση τυπική τιμή είναι $FF=0,7$, ενώ μια καλή τιμή ενεργειακής απόδοσης που χαρακτηρίζει τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι $FF=0,9$. Ο υπολογισμός του γίνεται από τον τύπο:

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{CC} \times V_{OC}}$$

-Τέλος ο μεγαλύτερος παράγοντας που παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιλογή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι ο βαθμός απόδοσης, ο οποίος είναι ο λόγος της μέγιστης

τιμής ηλεκτρικής ισχύος που αποδίδει το φωτοβολταϊκό στοιχείο P_{mp} προς την ισχύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας P_{in} η οποία ισούται με το γινόμενο της ενεργού επιφάνειας A του φωτοβολταϊκού στοιχείου σε m^2 (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το μεταλλικό μέρος) και της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας G σε W/m^2 .

Επομένως η σχέση δίνεται από τον τύπο :

$$n = \frac{P_{mp}}{P_{in}} = \frac{P_{mp}}{A * G} = \frac{I_{CC} * V_{OC} * FF}{A * G}$$

1.8 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Σε συνεργασία με το δίκτυο της ΔΕΗ ή ανεξάρτητα από αυτό.

- Ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού από φωτοβολταϊκά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ (διασυνδεδεμένο σύστημα). Σε αυτή τη περίπτωση, πουλάει κανείς το ηλιακό ρεύμα στο δίκτυο έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ για να καλύψει τις προσωπικές ανάγκες του. Δηλαδή έχει ένα μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και ένα άλλο για την καταμέτρηση της εξερχόμενης ενέργειας.

- Σε αντίθετη περίπτωση, μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να αποτελεί ένα αυτόνομο σύστημα που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου ή ενός επαγγελματικού χώρου. Για την συνεχή εξυπηρέτηση του καταναλωτή, η εγκατάσταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (μπαταρίες) και διαχείρισης της ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας (δηλαδή ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος-UPS). Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και μπαταρίες (συν όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά) για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκέσει αυτή.

Κατά κανόνα τα φωτοβολταϊκά συστήματα που έχουν εγκατασταθεί μέχρι πρόσφατα στην Ελλάδα εξυπηρετούσαν απομονωμένες χρήσεις, σε σημεία όπου δεν υπάρχει δίκτυο της ΔΕΗ, διότι στις περιπτώσεις αυτές είναι η πιο συμφέρουσα λύση, από οικονομική άποψη. Δηλαδή, η εναλλακτική λύση ενός ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους αποδεικνύεται μακροπρόθεσμα εξαιρετικά δαπανηρή. Όταν όμως υπάρχουν ισχυρά κίνητρα για την παραγόμενη ηλιακή κιλοβατώρα (όπως ισχύει πλέον), τότε συμφέρει στον καταναλωτή να είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο και να πουλά ταυτόχρονα ηλεκτρισμό σ' αυτό έναντι μια ορισμένης από το νόμο τιμής. Τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική.

Και τα δύο συστήματα έχουν από κάποιο σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας. Στην περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων, το "σύστημα αποθήκευσης" είναι το δίκτυο της ΔΕΗ, ενώ τα αυτόνομα συστήματα συνοδεύονται από μπαταρίες. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο είναι εξαιρετικά προβλέψιμη. Αυτό που

ενδιαφέρει, είναι πόσες κιλοβατώρες θα μας δώσει το σύστημα μας σε ετήσια βάση. Σε γενικές γραμμές, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περίπου 1,15– 1,4 MWh ανά εγκατεστημένο KW (MWh/έτος/KW). Σαφώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ό,τι στις βόρειες.

Το ποσό της ισχύος που θα έχει το φωτοβολταϊκό σύστημα εξαρτάται από δύο παραμέτρους. Αν επιλέχτηκε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα τότε εξαρτάται από την επιφάνεια στο κτίριο ή το οικόπεδο για να εγκατασταθούν τα φωτοβολταϊκά και τα χρήματα που διατίθενται για επένδυση. Για παράδειγμα θα υπήρχε η δυνατότητα να εγκατασταθεί ένα σύστημα που καλύπτει μόλις το 10% των αναγκών του κτιρίου (αν διατίθενται λίγα χρήματα και λίγος χώρος) ή και να υπερκαλυφθούν οι ανάγκες του κτιρίου (πουλώντας πράσινη ενέργεια στο δίκτυο).

Στην περίπτωση των αυτόνομων συστημάτων, η κατοικία θα έχει πολύ διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες αν χρησιμοποιείται ως κύρια κατοικία ή ως εξοχικό, ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκεται, τον αριθμό των ατόμων και τις ώρες που διαμένουν εκεί, ακόμα και τις συνήθειες τους. Θα πρέπει να υπολογιστεί η βέλτιστη ισχύς ώστε να καλυφθούν με ασφάλεια οι ανάγκες χωρίς να μπουν σε περιττά έξοδα. Για λόγους απόδοσης και οικονομίας πάντως, δε συνίσταται η χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων για την τροφοδότηση θερμικών ηλεκτρικών συσκευών, όπως κουζίνες, θερμοσίφωνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ ή θερμοσυσσωρευτές. Για τις χρήσεις αυτές υπάρχουν πολύ οικονομικότερες λύσεις όπως οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, ο γεωθερμικός κλιματισμός, οι κουζίνες ή τα σύγχρονα συστήματα θέρμανσης με βιομάζα, κ.λπ. Για παράδειγμα αν χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρικό θερμοσίφωνα που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα, το ηλιακό φως μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και κατόπιν από το θερμοσίφωνα σε θερμότητα. Το συνολικό κόστος των δύο αυτών συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερο από έναν ηλιακό θερμοσίφωνα που μετατρέπει απευθείας την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Από την άλλη μεριά, ο φωτισμός με λάμπες εξοικονόμησης ενέργειας και η χρήση ηλεκτρονικών συσκευών (υπολογιστές, ηχητικά συστήματα, ψυγεία, τηλεοράσεις, τηλεπικοινωνίες κ.λπ.) αποτελούν ανάγκες που μπορούν να καλυφθούν εύκολα και οικονομικά με φωτοβολταϊκά.

1.8.1 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ

Αντιστροφέας (inverter) είναι η συσκευή όπου μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) σε εναλλασσόμενο (AC). Η τάση που παράγουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι συνεχής, συνεπώς είναι ακατάλληλη για απευθείας σύνδεση με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, σε περίπτωση διασυνδεδεμένου συστήματος ή για την τροφοδότηση των οικιακών συσκευών, αφού οι περισσότερες λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση, στην περίπτωση αυτόνομου συστήματος.

Υπάρχει βέβαια και πιο απλός τρόπος μετατροπής DC ισχύος σε AC, και αυτός είναι η μηχανική σύνδεση ενός DC κινητήρα με AC γεννήτρια, αλλά αυτή η διαδικασία δεν είναι συμφέρουσα και έχει μικρό βαθμό απόδοσης. Οπότε η πιο καθιερωμένη μέθοδος για μία τέτοια μετατροπή βασίζεται στη χρήση ημιαγωγίων στοιχείων (transistor, thyristor) και έτσι προκύπτει ο καθαρά ηλεκτρονικός αντιστροφέας DC/AC inverter. Ο

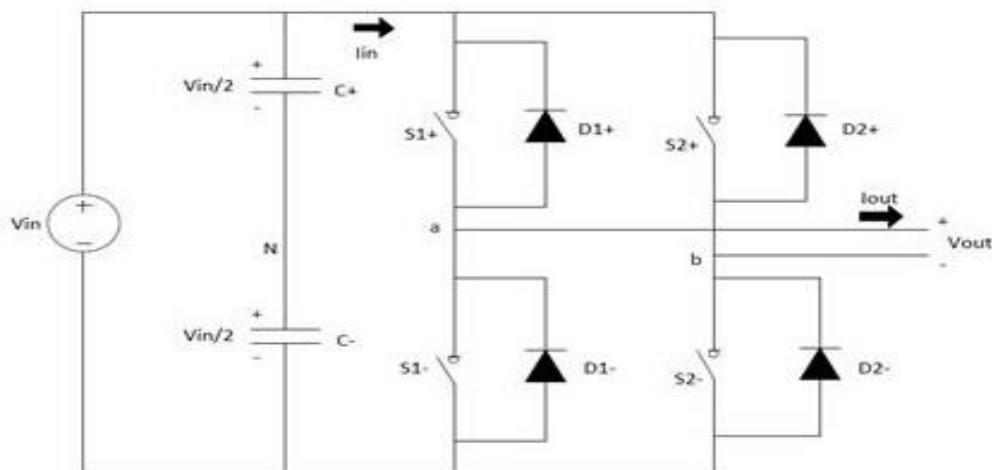
ρόλος λοιπόν του αντιστροφέα (DC/AC inverter) είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσης που παράγεται από τα ΦΒ στοιχεία σε εναλλασσόμενη, κατάλληλης τιμής και συχνότητας για σύνδεση στο δίκτυο (ή σε εφαρμογές οικιακής χρήσεως).

Γενικά, ένας αντιστροφέας πρέπει να εκτελεί τρεις λειτουργίες, που είναι α) αντιστροφή, β) ρύθμιση της τάσης και γ) διαμόρφωση της κυματομορφής.

Οι βασικές κατασκευαστικές προδιαγραφές ενός αντιστροφέα (Inverter) είναι να αποτελείται από εύκολα συναρμολογούμενα μέρη για να γίνονται εύκολα μετατροπές και αναβαθμίσεις, ενώ πρέπει να είναι διαμορφωμένος έτσι ώστε να μη σταματάει η λειτουργία του σε υψηλές διακοπτικές συχνότητες. Ακόμα, πρέπει να υπάρχει πλήρης γαλβανική απομόνωση του κυκλώματος από τα κυκλώματα ελέγχου και προστασίας ώστε να έχει τη δυνατότητα ο αντιστροφέας (Inverter) να συνδέεται με άλλα ψηφιακά συστήματα. Οι βασικές λειτουργικές προδιαγραφές ενός αντιστροφέα τάσης (Inverter) είναι να μπορεί να μετατρέπεται εύκολα η λειτουργία του από μονοφασική σε τριφασική, να είναι απλός ο επαναπρογραμματισμός του χωρίς να είναι απαραίτητη η αποσυναρμολόγηση του, ώστε να εξασφαλιστεί η ανάπτυξη και ο έλεγχος λειτουργίας. Επίσης, πρέπει να έχει τη δυνατότητα, σε περίπτωση προβλήματος όπως κάποιο βραχυκύκλωμα, ή υπέρταση, να σταματάει τη λειτουργία του κυκλώματος και να υπάρχει μια ένδειξη η οποία να μας προσδιορίζει το πρόβλημα.

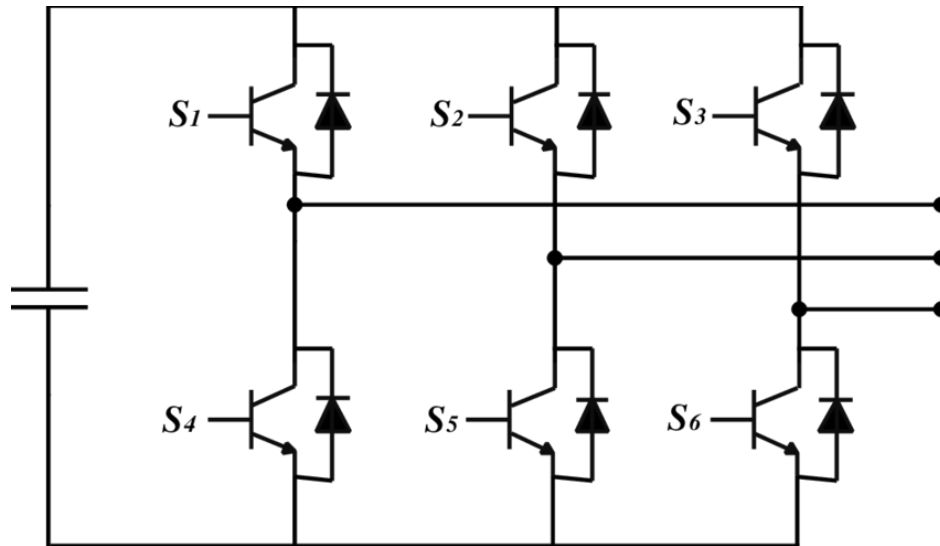
Οι αντιστροφείς DC/AC μπορεί να είναι είτε μονοφασικοί είτε τριφασικοί.

-Οι μονοφασικοί αντιστροφείς χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την τοπολογία τους σε αντιστροφείς ημιγέφυρας και πλήρους γέφυρας. Οι πρώτοι υστερούν σαφώς για αυτό και σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων χρησιμοποιούνται οι αντιστροφείς πλήρους γέφυρας. Όταν η είσοδος των αντιστροφέων είναι μια πηγή τάσης, αυτοί ονομάζονται αντιστροφείς πηγής τάσης (Voltage Source Inverters VSI) ενώ όταν ως είσοδος λαμβάνεται μια πηγή έντασης ονομάζονται αντιστροφείς πηγής έντασης (Current Source Inverters CSI). Ο χαρακτηρισμός του αντιστροφέα δεν έχει να κάνει απαραίτητα με την ενεργειακή πηγή του συστήματος, αλλά με την τοπολογία. Έτσι είναι δυνατόν να αλλάξει η μορφή της πηγής χρησιμοποιώντας παθητικά στοιχεία. Οι αντιστροφείς πηγής τάσης έχουν μια χωρητικότητα παράλληλα συνδεδεμένη με την πηγή, ενώ οι αντιστροφείς πηγής έντασης ένα πηνίο σε σειρά με την πηγή.



Σχήμα 1.4: Μονοφασικός αντιστροφέας πηγής τάσης

-Οι τριφασικοί μετατροπείς χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μέσης και υψηλής ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, συνηθίζεται η χρήση τους για ισχύ πάνω από 5KW. Σκοπός τους είναι να παρέχουν μία τριφασική πηγή τάσης ή έντασης, όπου το πλάτος, η φάση και η συχνότητα να είναι ανά πάσα στιγμή ελεγχόμενα.



Σχήμα 1.5: Τριφασικός αντιστροφέας πηγής τάσης

Όλοι οι μετατροπείς διαθέτουν έναν ανιχνευτή σημείου μέγιστης ισχύος (MPP-Tracker). Ο ανιχνευτής αυτός φροντίζει, ώστε η φωτοβολταϊκή γεννήτρια να λειτουργεί πάντοτε στο καλύτερο σημείο λειτουργίας της. Με αυτόν τον τρόπο, η φωτοβολταϊκή γεννήτρια μπορεί να χρησιμοποιήσει όσο το δυνατόν καλύτερα τη διαθέσιμη ισχύ σε συγκεκριμένη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέλος, ένα σημαντικό θέμα που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν είναι η συμβατότητα μεταξύ των τύπων των Φ/Β και του αντιστροφέα που σχετίζεται με την απαίτηση ή όχι για γείωση της συστοιχίας στην πλευρά Σ.Ρ. Πιο συγκεκριμένα, ορισμένοι τύποι Φ/Β πλαισίων απαιτούν σύμφωνα με τις κατασκευαστικές προδιαγραφές γείωση είτε του αρνητικού (Thin-film) είτε του θετικού (Back contact) πόλου. Η γείωση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε απευθείας, είτε μέσω μεγάλης αντίστασης και αποσκοπεί στην αποφυγή λειτουργικών προβλημάτων που εμφανίζουν οι παραπάνω τύποι πλαισίων όταν παραμένουν αγείωτα (προβλήματα διάβρωσης και υποβάθμισης της απόδοσης). Συνεπώς σε τέτοιες περιπτώσεις θα πρέπει να αποφεύγεται χρήση αντιστροφέων χωρίς γαλβανική απομόνωση, λόγω εμφάνισης ρευμάτων διαρροής, εκτός αν υπάρχει πιστοποίηση από τον κατασκευαστή του αντιστροφέα ότι ο επιλεγμένος τύπος αντιστροφέα είναι κατάλληλος για χρήση με τα πλαίσια που έχουμε επιλέξει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Η ενέργεια που παράγουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα επηρεάζεται από ένα σύνολο παραγόντων που πρέπει να υπολογίζονται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του συστήματος. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να είναι είτε εσωτερικοί είτε εξωτερικοί. Η ετήσια ενεργειακή απόδοση αποτελεί το καλύτερο μέτρο σύγκρισης για τον σχεδιασμό και την παρακολούθηση της μακροχρόνιας συμπεριφοράς της εκάστοτε διάταξης. Πρακτικά έχουν καθοριστεί κάποιες συνθήκες αναφοράς (Standard Test Conditions, STC) από δοκιμές που έχουν γίνει, οι οποίες θα ήταν ιδανικές για την βέλτιστη λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων και είναι οι εξής:

- Ηλιακή ακτινοβολία : 1000 W/m^2
- Θερμοκρασία στοιχείου : 25°C
- A.M. (Air Mass): 1,5

Παρακάτω θα αναλύσουμε τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν είτε θετικά είτε αρνητικά την επίδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Ένας από τους πιο βασικούς παράγοντες της ενεργειακής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια των συλλεκτών. Από την ακτινοβολία που εισέρχεται στη γη μόνο το 51% απορροφάται άμεσα από το έδαφος, το 19% απορροφάται από τα σύννεφα και την ατμόσφαιρα, ενώ το υπόλοιπο 30% ανακλάται από τα σύννεφα, την ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της γης. Η άμεση συνιστώσα της ακτινοβολίας, προέρχεται από την κατεύθυνση του ήλιου, ενώ αντίθετα η διάχυτη σκεδάζεται από τον ουράνιο θόλο και δεν έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης είναι άκρως μεταβλητή. Εκτός της ημερήσιας και ετήσιας μεταβολής λόγω της φαινομενικής κίνησης του ήλιου, έχουμε και ακατάστατες μεταβολές (όπως κάλυψη από τα σύννεφα) λόγω κλιματολογικών συνθηκών και την γενικότερη σύσταση της ατμόσφαιρας. Ανάλογα με τις συνθήκες συννεφιάς και την ώρα της ημέρας (γωνία ύψους του ήλιου), η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία διαφέρουν σημαντικά. Τις ηλιόλουστες ημέρες, η άμεση ακτινοβολία είναι η μεγαλύτερη συνιστώσα της συνολικής

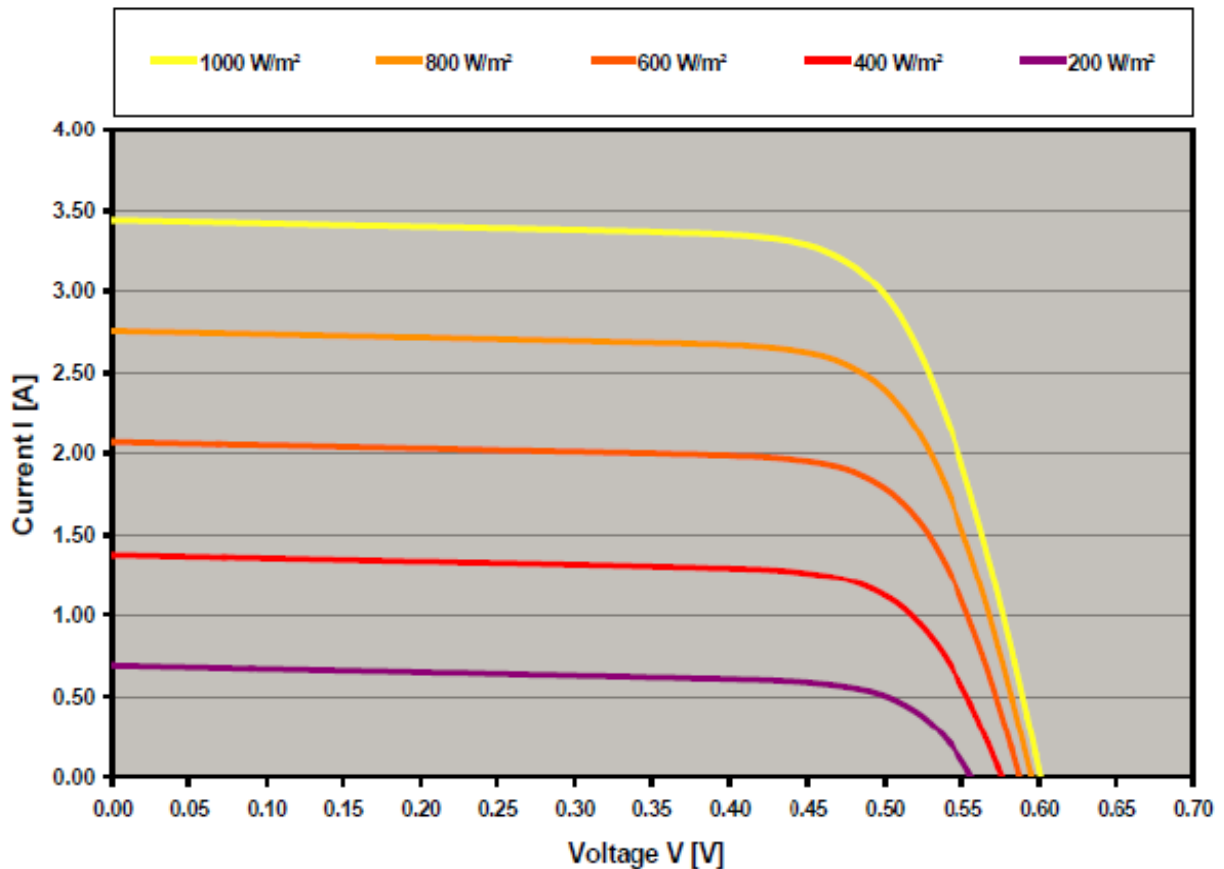
ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ αντιθέτως σε συννεφιασμένες μέρες (κυρίως το χειμώνα), η συνολική ακτινοβολία οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη της διάχυτης συνιστώσας.

Η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια ενός συλλέκτη είναι με τη σειρά της άμεσα εξαρτώμενη από τον προσανατολισμό του πλαισίου ως προς τον ήλιο. Για τα μεγαλύτερα λαμβανόμενα ποσά ηλιακής ενέργειας τα πλαίσια πρέπει να προσανατολίζονται κατάλληλα και να είναι τοποθετημένα στη βέλτιστη γωνία κλίσης εφόσον δεν χρησιμοποιούνται στρεφόμενες βάσεις ενός ή δύο αξόνων. Η αύξηση της ακτινοβολίας συνεπάγεται με αύξηση του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, άρα και της παραγόμενης ισχύς. Τέλος, να επισημάνουμε ότι η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας δεν εξαρτάται μόνο από την ηλιακή ακτινοβολία, αλλά και από την ικανότητα των στοιχείων να μετατρέψουν την ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα.

2.2.1 ΕΝΤΑΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Όταν έχουμε πλήρως φωτεινή και ηλιόλουστη ημέρα το φωτορεύμα φτάνει την μέγιστη τιμή του. Όταν έχουμε μερικώς ηλιόλουστη μέρα το φωτορεύμα μειώνεται ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως βλέπουμε και στο παρακάτω σχεδιάγραμμα η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης μετατοπίζεται προς τα κάτω σε αναλογία με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, συνεπώς έχουμε μείωση της αποδιδόμενης ισχύς.

Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας, Παρατηρείται ότι, στις χαμηλές τιμές πυκνότητας ισχύος, η εξάρτηση είναι γραμμική, ενώ σε υψηλότερες τιμές αποκλίνει από τη γραμμική συμπεριφορά. Η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου πρακτικά μετά τα 200 W/m^2 πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας αποκτά τη μέγιστη τιμή της.



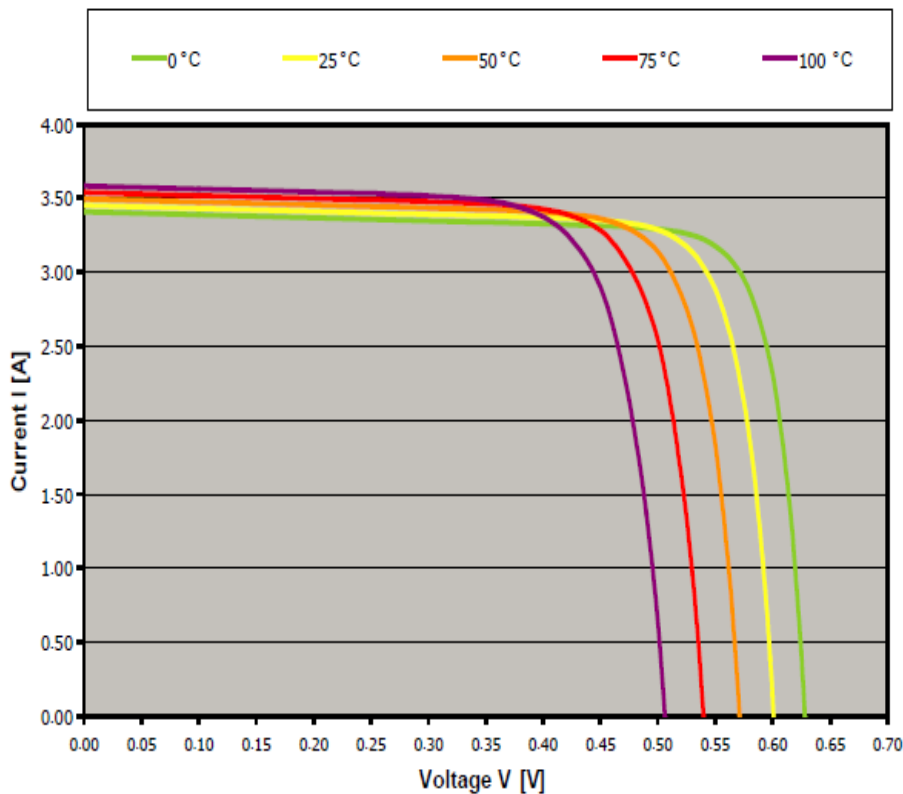
Σχήμα 2.1: Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας

2.3 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Η θερμοκρασία των συλλεκτών έχει πολύ μεγάλη σημασία για την απόδοσή τους. Όπως προαναφέραμε η θερμοκρασία που δίνεται από δοκιμές για τον βαθμό απόδοσης είναι 25°C, όμως αυτή η τιμή διαφέρει αρκετά, ιδιαίτερα τους κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει αρνητική επίδραση στην απόδοση των κυττάρων. Πιο συγκεκριμένα με την αύξηση της θερμοκρασίας έχουμε αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, που συνεπάγεται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρό ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται με μείωση της τάσης ανοικτού κυκλώματος. Αν εξετάσουμε μεμονωμένα την διαφορά στην αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης και στην μείωση της τάσης ανοικτού κυκλώματος, θα υπολογίσουμε ποσοτικά την ισχύ εξόδου. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους:

$$I_{SC} = I_0(1 + \alpha * \Delta T) \text{ \& } V_{OC} = V_0(1 - \beta * \Delta T)$$

Όπου I_0 το ρεύμα βραχυκύκλωσης και V_0 η τάση ανοιχτού κυκλώματος στην θερμοκρασία αναφοράς T , ενώ α και β είναι οι αντίστοιχοι θερμοκρασιακοί συντελεστές. Όπως θα δούμε και στο παρακάτω σχεδιάγραμμα, με την αύξηση της θερμοκρασίας η μείωση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος είναι πολύ μεγαλύτερη από την αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης, συνεπώς η αποδιδόμενη ισχύς στην έξοδο θα είναι μειωμένη.



Σχήμα 2.2: Χαρακτηριστικές καμπύλες I-V συναρτήσεως της θερμοκρασίας

2.3.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ

Ένας σημαντικός εσωτερικός παράγοντας που πρέπει να προσέχουμε κατά την επιλογή των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι ο θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος ή αλλιώς NOCT (Nominal Operating Cell Temperature). Ο συγκεκριμένος συντελεστής δείχνει την θερμοκρασία που αναπτύσσει κάθε πάνελ σε υψηλή ακτινοβολία, αφού στις πρότυπες συνθήκες αναφοράς, τα πάνελ έχουν δοκιμαστεί σε θερμοκρασία 25°C, ενώ στην πραγματικότητα αυτή η θερμοκρασία διαφέρει αρκετά. Το NOCT είναι πιο κοντινό στις πραγματικές συνθήκες μέτρησης με ακτινοβολία 800 watt /m², θερμοκρασία αέρα 20°C και μέση ταχύτητα ανέμου 1 m /sec (2,24 μίλια/ώρα), με την πίσω πλευρά του φωτοβολταϊκού πλαισίου ανοιχτή στον αέρα. Όσο χαμηλότερο NOCT έχει ένα

πάνελ τόσο μεγαλύτερη απόδοση έχει στις υψηλές θερμοκρασίες και έτσι δίνει καλύτερη απόδοση σε βάθος χρόνου. Τυπικές τιμές ενός μέσου πάνελ στην αγορά είναι 46-48°C, ενώ ένα καλό πάνελ έχει NOCT 42-44°C.

2.3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Ο αέρας έχει άμεση επίδραση στην θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πλαισίου, συνεπώς και στην απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου, όπως αναφέραμε νωρίτερα. Οι βόρειοι άνεμοι είναι συνήθως ψυχρότεροι και γενικά σε μεγάλες ταχύτητες καταφέρνουν να ψύξουν το πλαίσιο, ενώ αντιθέτως οι νότιοι άνεμοι είναι πιο θερμοί και αυξάνουν την θερμοκρασία με συνέπεια την μείωση της παραγόμενης ενέργειας.

2.4 ΣΚΙΑΣΗ

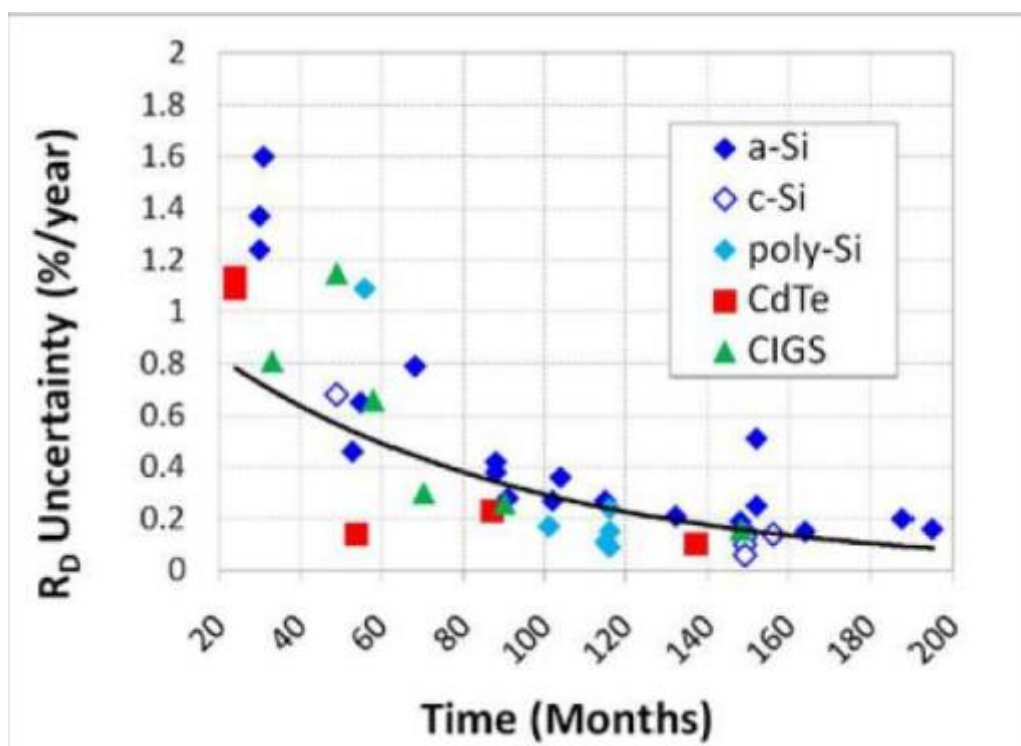
Το φαινόμενο της σκίασης έχει γίνει αντικείμενο εκτενούς μελέτης τα τελευταία χρόνια. Συναντάται συνήθως σε περιπτώσεις που έχουμε εμπόδια στον ορίζοντα των πλαισίων όπως παραπλήσια κτήρια, δέντρα κτλ, είτε σε περιπτώσεις περιορισμένου χώρου της εγκατάστασης, με αποτέλεσμα την σκίαση από μια σειρά πλαισίων στην επόμενη. Ιδιαίτερα στη δεύτερη περίπτωση μπορεί να έχουμε σοβαρές επιπτώσεις, για αυτό πρέπει να γίνει μελέτη και προσδιορισμός των απωλειών που προκαλείται. Κάθε πλαίσιο αποτελείται από φωτοβολταϊκά στοιχεία σε σειρά, τα οποία έχουν ίδια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, οπότε σε περίπτωση που ένα στοιχείο βρίσκεται υπό σκίαση ή καταστραφεί, τότε όλο το πλαίσιο θα τεθεί εκτός λειτουργίας.

Στην ουσία ένα σκιασμένο στοιχείο λειτουργεί σαν μια απλή δίοδο, με κλειστό κύκλωμα δέχεται από τα υπόλοιπα λειτουργικά φωτοβολταϊκά στοιχεία ανάστροφη τάση. Σε περίπτωση που τα φωτιζόμενα στοιχεία είναι μεγάλου αριθμού, υπάρχει κίνδυνος αυτή η τάση αυτή να υπερβεί την τάση διάσπασης του σκιασμένου στοιχείου με αποτέλεσμα την καταστροφή του. Πρακτικά ένα σκιασμένο στοιχείο λειτουργεί σαν αντίσταση όπου δέχεται την ενέργεια που αποδίδουν τα υπόλοιπα στοιχεία. Συνεπώς ο εκτεταμένος σκιασμός ενός στοιχείου και παράλληλα ο έντονος φωτισμός των υπολοίπων θα επιφέρει την αχρήστευση όλου του πλαισίου, αφού δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης ενός μόνο φωτοβολταϊκού στοιχείου. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως HotSpot. Για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο, σε κάθε κύτταρο που είναι συνδεδεμένο σε σειρά τοποθετείται παράλληλα μία δίοδος, γνωστή ως δίοδος παράκαμψης, έτσι ώστε σε περίπτωση καταστροφής ενός μόνο στοιχείου να συνεχίσει το πλαίσιο να λειτουργεί κανονικά.

2.5 ΓΗΡΑΝΣΗ ΥΛΙΚΟΥ

Σύμφωνα με μελέτη που έγινε από την LEETISO στην Ελβετία επί των 288 μονάδων ARCO Solar ASI 16-2.300, κρυσταλλικού πυριτίου των 37 Wp το καθένα, σε υπαρκτή εγκατάσταση από τις 13 Μαΐου 1982, μεταξύ των 288 πλαισίων, 252 συνέχιζαν να λειτουργούν το 2002, αυτό αντιστοιχεί σε απώλεια 12.5% μετά από 20 χρόνια. Επιπλέον, πάνω στα 252 λειτουργικά πλαίσια που είχαν απομείνει, η απώλεια της παραγωγής ήταν 0.2% ετησίως, η οποία είναι πολύ χαμηλή.

Σύμφωνα με άλλη μελέτη που έγινε από το USNREL, 'Outdoor PV degradation comparison' το 2010, μελετώντας την αβεβαιότητα του ρυθμού υποβάθμισης συναρτήσει του χρόνου παρατήρησης για διαφορετικές φωτοβολταϊκές τεχνολογίες, τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα:



Σχήμα 2.3: Ποσοστό γήρας υλικού συναρτήσει του χρόνου

Να σημειώσουμε ότι η απώλεια της παραγωγής στη φωτοβολταϊκή ενέργεια είναι κατά προσέγγιση ασήμαντη στη διάρκεια των πρώτων χρόνων χρήσης, ιδιαίτερα για τεχνολογίες άμορφου πυριτίου. Ύστερα από μερικά χρόνια, η ετήσια απώλεια στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών σταθεροποιείται σε 0.2% ετησίως, η οποία είναι πολύ χαμηλή. Σύμφωνα με τους περισσότερους κατασκευαστές φωτοβολταϊκών πλαισίων η εγγυημένη μέγιστη απώλεια που δίνεται από μετά από 20 χρόνια είναι 20%, δηλαδή 1% ετησίως, που είναι πολύ μεγαλύτερη από τα αποτελέσματα των ερευνών. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες έχουν δείξει μεγάλη αξιοπιστία σε αυτό το κομμάτι.

2.6 ΡΥΠΑΝΣΗ & ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

Η ενεργειακή απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να μειωθεί χωρίς παρακολούθηση στο πέρας του χρόνου. Αυτό διότι επάνω στην επιφάνεια του συλλέκτη μπορεί να έχουμε συσσώρευση αφρικανικής σκόνης, ακαθαρσιών πτηνών, διάφορων απορριμμάτων ή και χιονιού για τους χειμερινούς μήνες. Στις μεγάλες αστικές περιοχές η ρύπανση είναι μεγαλύτερη, διότι από την μεγαλύτερη εκπομπή καυσαερίων των αυτοκινήτων και των βιομηχανιών, προσκολλάται αιθάλη στην γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των πλαισίων και σε συνδυασμό με την καθυστέρηση βροχής, ιδιαίτερα την θερινή περίοδο, να έχουμε μεγάλη μείωση της αποδιδόμενης ισχύς. Σε βορειότερες κυρίως περιοχές με πιο βαρύ χειμώνα, για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται κάθετα ή τουλάχιστον με μεγαλύτερη κλίση από ότι συνηθίζεται.

Για τους παραπάνω λόγους ως συντήρηση αρχικά μπορούμε να κάνουμε μια εξωτερική επίβλεψη και καθαρισμό των επιφανειών με αποιονισμένο νερό για την βέλτιστη πλύση, ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Ιδιαίτερος ύστερα από ακραία καιρικά φαινόμενα όπως βροχές και χιονοπτώσεις. Έπειτα πρέπει να κάνουμε συχνό έλεγχο στις μετρήσεις, αν έχουμε σύστημα τηλεμετρίας για παρακολούθηση της αποδιδόμενης ενέργειας. Για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις, όπως πχ φωτοβολταϊκά πάρκα μπορούμε να αναθέσουμε την συντήρηση σε εξειδικευμένο συνεργείο για έγκαιρο εντοπισμό και αντιμετώπιση προβλημάτων με εργασίες τεχνικής υποστήριξης, όπως σύσφιξη των πρόσθετων τμημάτων των βάσεων στήριξης, λίπανση τυχόν κινούμενων μερών, εντοπισμός τυχόν φθαρμένων υλικών, επιθεώρηση των καλωδίων και ιδιαίτερα των ενωτικών συνδέσμων για το ενδεχόμενο της υγρασίας, έλεγχος καλής γείωσης και αντικεραυνικού (εάν υπάρχει) και πρόληψη μελλοντικών βλαβών μέσω θερμογράφησης του εξοπλισμού με ειδική θερμοκάμερα. Η περίπτωση επαγγελματικού συνεργείου θα ήταν η ιδανική λύση, ούτως ώστε σε περίπτωση οποιασδήποτε βλάβης να είμαστε καλυμμένοι από την εγγύηση, για τυχόν ζήτηση αρχείου συντήρησης από την εταιρία. Όλα αυτά θα έχουν σαν αποτέλεσμα την έγκυρη αναγνώριση οποιουδήποτε προβλήματος, συνεπώς και την μείωση του χρόνου αποκατάστασης, άρα και μικρότερη οικονομική επιβάρυνση για τον επενδυτή.

2.7 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

- Ηλεκτρικές απώλειες

Όταν γίνει η μελέτη για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας πολλούς παράγοντες που θα μπορούσαν να μειώσουν την αποδιδόμενη ισχύ που θα

θέλαμε, ούτως ώστε να γίνει όσο το δυνατόν πιο γρήγορα η απόσβεση και έπειτα κερδοφόρα η επένδυση στα ΑΠΕ. Αρχικά πρέπει να υπολογίσουμε τις ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και οποιαδήποτε ηλεκτρική σύνδεση με άλλα μέρη του συστήματος, όπως διακλαδώσεις, διατάξεις ρύθμισης- προστασίας και έλεγχου, inverter κλπ. Συνεπώς πρέπει να γίνει σωστός υπολογισμός της απαιτούμενης επιφάνειας των φωτοβολταϊκών για να έχουμε την αποδιδόμενη ισχύ που θέλουμε και πρέπει να γίνεται πρόβλεψη όλων των πιθανών απωλειών, είτε εσωτερικών, με την σωστή επιλογή των επιμέρους εξαρτημάτων εξετάζοντας όλες τις παραμέτρους και συνυπολογίζοντας τους βαθμούς απόδοσης, είτε με υπολογισμό όλων των εξωτερικών παραγόντων επιρροής ενεργειακής απόδοσης, για την βέλτιστη λειτουργία με την καλύτερη δυνατή απόδοση.

-Οπτικές απώλειες

Όταν λέμε οπτικές απώλειες εννοούμε τη διαφορά της ανακλαστικότητας ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, ανάλογα το υλικό των φωτοβολταϊκών κυττάρων και της επιφάνειας του πλαισίου, σε σχέση με την αντίστοιχη σε πρότυπες συνθήκες αναφοράς (STC). Συνεπώς, η ανακλαστικότητα οποιουδήποτε συστήματος του φωτοβολταϊκού πλαισίου θα είναι διαφορετική διότι πολύ σπάνια θα καταφέρουμε να έχουμε τις τιμές που έχουν οι πρότυπες συνθήκες αναφοράς. Η διαφορά αυτή αυξάνει όσο αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνειά του πλαισίου, ιδιαίτερα σε γωνίες πρόσπτωσης μεγαλύτερες των 60° . Ένα άλλο χαρακτηριστικό που αυξάνει τις οπτικές απώλειες είναι η διαφοροποίηση του φάσματος της ακτινοβολίας. Το A.M= 1.5 ηλιακό φάσμα που καθορίζεται από τις STC, διαφοροποιείται στην διάρκεια του χρόνου, αλλά σε φωτοβολταϊκά ευρείας φασματικής περιοχής οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας, αποσβένονται κατά μέσο όρο σε ετήσια βάση. Συνεπώς θεωρούνται σχετικά ανεξάρτητα από τις μεταβολές του ηλιακού φάσματος, σε αντίθεση με τα φωτοβολταϊκά στενής φασματικής περιοχής, που οι ετήσιες απώλειες είναι σημαντικότερες. Επίσης οπτικές απώλειες παρατηρούνται και λόγω χαμηλών τιμών της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι αποδόσεις των περισσότερων ηλιακών κυττάρων μειώνεται στις χαμηλές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, κυρίως κάτω από τα 200 W/m^2 . Γενικά οι οπτικές απώλειες, αποδεικνύονται μικρής σημασίας για πλαίσια καλής ποιότητας, αλλά σε υποδεέστερη ποιότητα αυξάνονται κατά πολύ.

- Ανοχή Ισχύος

Η ανοχή ισχύος (ή peak tolerance rating, ή minimum power max, ή minimum warranted power) είναι ένα ποσοστό που μας δείχνει την ανοχή της ονομαστικής ισχύος, η οποία μπορεί να είναι είτε θετική, είτε αρνητική. Άμα για παράδειγμα ο κατασκευαστής στα τεχνικά χαρακτηριστικά μας δίνει την τιμή $-5\%/+10\%$ τότε η ονομαστική ισχύς του πλαισίου μπορεί να μειωθεί μέχρι 5% ή να αυξηθεί μέχρι και 10%. Οπότε πρέπει να ξέρουμε αυτό το ποσό κατά την επιλογή των πάνελ ώστε να κάνουμε την καλύτερη επιλογή.

-Ο συντελεστής κατασκευής και ποιότητας A

Όπως είπαμε παραπάνω ο συντελεστής κατασκευής και ποιότητας A μας δείχνει κατά πόσο πλησιάζει η συμπεριφορά της διόδου την θεωρητική, όπου η επαφή p-n είναι ιδανική και δεν υπάρχει καμία επανασύνδεση φορέων μέσα στην περιοχή ανταλλαγής φορτίου. Όταν έχουμε την τιμή 1 έχουμε την ιδανική δίοδο, ενώ όταν έχουμε την τιμή 2, υπάρχει σε μεγάλο βαθμό επανασύνδεση φορέων.

- Η αντίσταση σειράς R_S και η παράλληλη αντίσταση R_{sh}

Δύο άλλοι εσωτερικοί παράγοντες που μας δείχνουν κατά πόσο ένα πλαίσιο είναι καλό αποδοτικά, είναι η αντίσταση σειράς R_S και η παράλληλη αντίσταση R_{sh} . Η πρώτη εμποδίζει τη διέλευση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό, συνεπώς όσο μικρότερη τόσο λιγότερες θα είναι οι απώλειες. Ενώ η παράλληλη αντίσταση υπάρχει λόγω ρευμάτων διαρροής από αστοχία υλικού. Όσο η τιμή της τείνει προς το άπειρο, τόσο μικρότερες εσωτερικές απώλειες θα έχουμε. Όταν μειώνεται, η ένταση του ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση R_{sh} αυξάνεται για δεδομένη τιμή της τάσης στα άκρα της, με αποτέλεσμα να μειωθεί η τιμή της έντασης του ρεύματος φορτίου, άρα και η τάση ανοιχτοκύκλωσης. Για μικρές τιμές της R_{sh} θα υπάρξει σημαντική μείωση της τάσης V_{OC} .

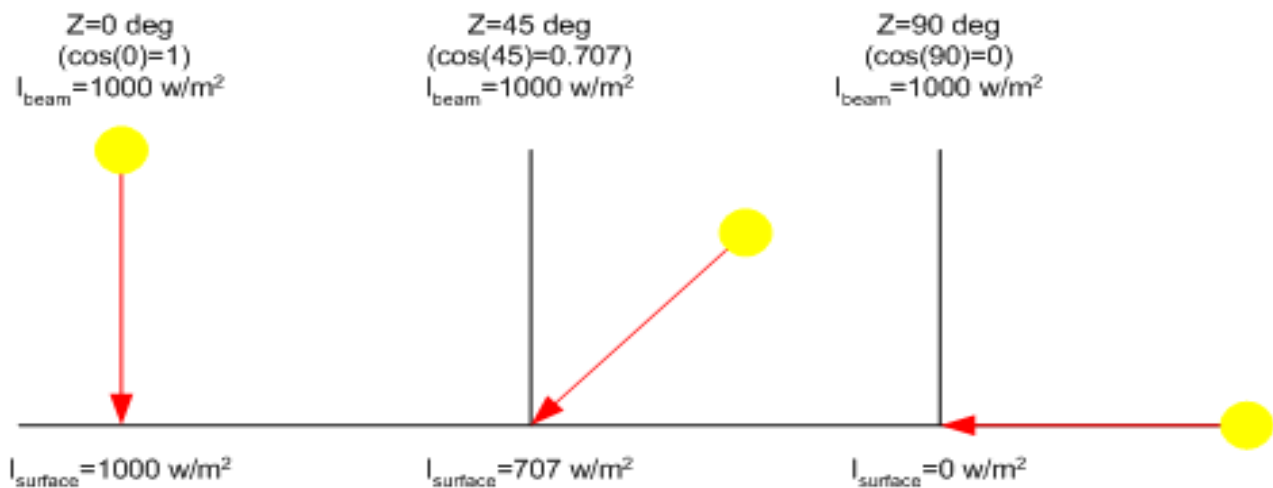
2.8 ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΝΗΜΙΤΟΝΟΥ

Η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια που είναι κάθετη στην διεύθυνση των ακτινών του ηλίου υπολογίζεται από την σχέση $E = I_0 * S$, όπου I_0 η ένταση ακτινοβολίας σε W/m^2 , ενώ η επιφάνεια S σε m^2 . Η ένταση ακτινοβολίας (W/m^2) που προσπίπτει πάνω σε κεκλιμένη επιφάνεια, είναι ανάλογη του συνημίτονου της γωνίας θ που σχηματίζεται ανάμεσα στη διεύθυνση των ακτινών του ήλιου και στην κάθετη στο κέντρο της επιφάνειας, δηλαδή:

$$I = I_0 * \cos\theta$$

Ο νόμος του συνημίτονου ισχύει για γωνίες μεταξύ 0 και περίπου 45 μοίρες. Όσο μικρότερη είναι η γωνία, τόσο τείνει να γίνει κάθετη η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας προς την μετρούμενη επιφάνεια. Πάνω από τις 45 μοίρες παρατηρείται σημαντική απόκλιση από το νόμο του συνημίτονου και η κυψέλη δεν παράγει καθόλου ισχύ για γωνίες πάνω των 85 μοιρών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ηλιακές ακτίνες όταν είναι κάθετες, τότε έχουν την μεγαλύτερη πυκνότητα στην μονάδα επιφάνειας και δεν ανακλώνται στην γυάλινη ή πλαστική επικάλυψη του συλλέκτη.

Για τον παραπάνω λόγο ο ήλιος είναι θερμότερος το μεσημέρι που βρίσκεται στο ζενίθ του, σε αντίθεση με το πρωί και το απόγευμα, διότι η πρόσπτωση των ακτινών είναι σχεδόν κάθετη, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.4: Νόμος του συνημιτόνου

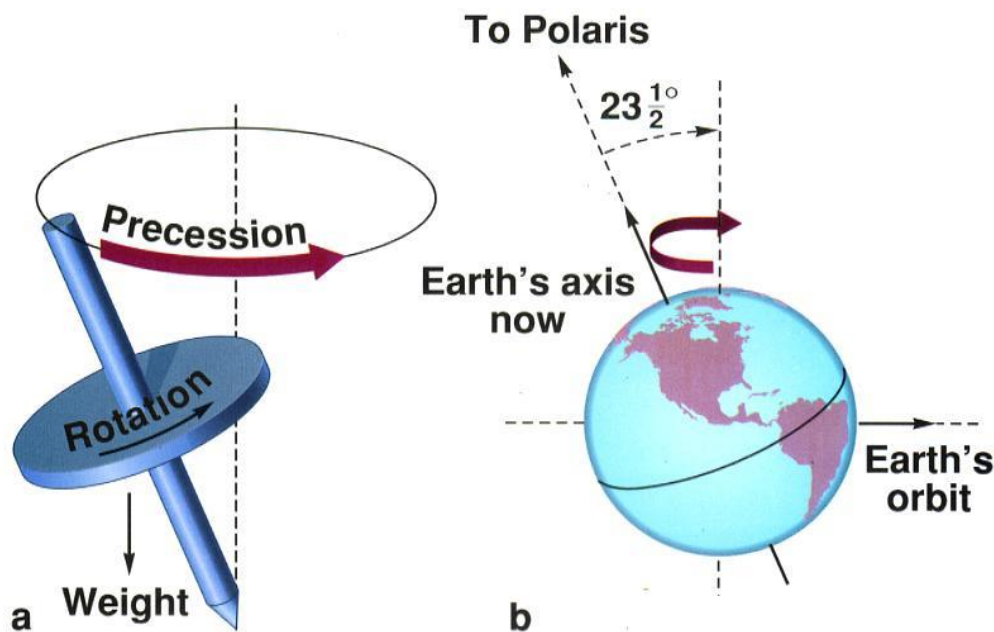
2.8.1 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΤΩΝ ΕΠΟΧΩΝ

Η γη κάνει μια περιφορά γύρω από τον ήλιο σε 365 μέρες (ένα έτος). Η τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο είναι ελλειπτική, δηλαδή δεν κάνει απόλυτα κυκλική κίνηση, αλλά ακολουθεί μια ελαφρώς οβάλ πορεία. Μάλιστα το κοντινότερο (περιήλιο) με το μακρινότερο (αφήλιο) σημείο της γης από τον ήλιο διαφέρουν κατά 5 εκατομμύρια χιλιόμετρα. Για τον λόγο αυτό έχουμε πιο ζεστά καλοκαίρια στο νότιο ημισφαίριο και πιο ήπιους χειμώνες στο βόρειο. Όμως το φαινόμενο των εποχών δεν οφείλεται σε αυτή τη διαφορά, διότι το νότιο και το βόρειο ημισφαίριο της γης έχουν διαφορετικές εποχές. Η ύπαρξη των εποχών οφείλεται στον άξονα της γης, δηλαδή τη νοητή ευθεία που περνάει από το κέντρο της γης και ενώνει τον βόρειο με τον νότιο πόλο. Αυτό διότι ο άξονας της γης δεν είναι κάθετος στο επίπεδο της τροχιάς της γύρω από τον ήλιο, αλλά έχει μια κλίση περίπου $23,5^\circ$.

Η κατεύθυνση της γης παραμένει ίδια σε όλη τη διάρκεια της τροχιάς της, οπότε μερικούς μήνες τον χρόνο το βόρειο ημισφαίριο κλίνει προς τον ήλιο και κάποιους άλλους μήνες κλίνει το νότιο ημισφαίριο. Όποιο ημισφαίριο κλίνει προς τον ήλιο θερμαίνεται περισσότερο λόγω της κάθετης πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως εξηγήσαμε παραπάνω.

Η γη χωρίζεται σε κλιματικές ζώνες και οι εποχές δεν είναι όπως τις γνωρίζουμε σε κάθε κλιματική ζώνη, αλλά διαφέρουν. Οι 4 εποχές ισχύουν μόνο στις εύκρατες ζώνες. Στις τροπικές ζώνες, που βρίσκονται γύρω από τον ισημερινό, οι ακτίνες της ηλιακής ακτινοβολίας πέφτουν σχεδόν κάθετα όλο τον χρόνο και για αυτό έχουν υψηλές θερμοκρασίες με δυο εποχές, την υγρή και την ξηρή. Αντίθετα στις πολικές ζώνες, στον βόρειο και το νότιο πόλο, που οι ακτίνες της ηλιακής ακτινοβολίας πέφτουν με μικρή κλίση, έχουν χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ ξεχωρίζουν για τα φαινόμενα του Ήλιου του μεσονυκτίου και της πολικής νύχτας. Μάλιστα μπορεί ο ήλιος να είναι ορατός ή αόρατος για πολλά 24ωρα συνεχόμενα. Οι εύκρατες ζώνες βρίσκονται ανάμεσα στις πολικές και στις τροπικές ζώνες και για το βόρειο και για το νότιο ημισφαίριο. Το κλίμα τους είναι

συνήθως εύκρατο ή μεσογειακό. Η κλίση των ακτινών του ήλιου με μέσο όρο 45° , είναι πιο ισορροπημένη σε σχέση με τις άλλες δυο ζώνες και για αυτό το λόγο οι καιρικές συνθήκες είναι πιο ήπιες και δεν υπάρχουν απότομες μετεωρολογικές αλλαγές.



Σχήμα 2.4: Απεικόνιση του άξονα και περιστροφή της γης

2.8.2 ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΗΜΕΡΑΣ ΚΑΙ ΝΥΧΤΑΣ

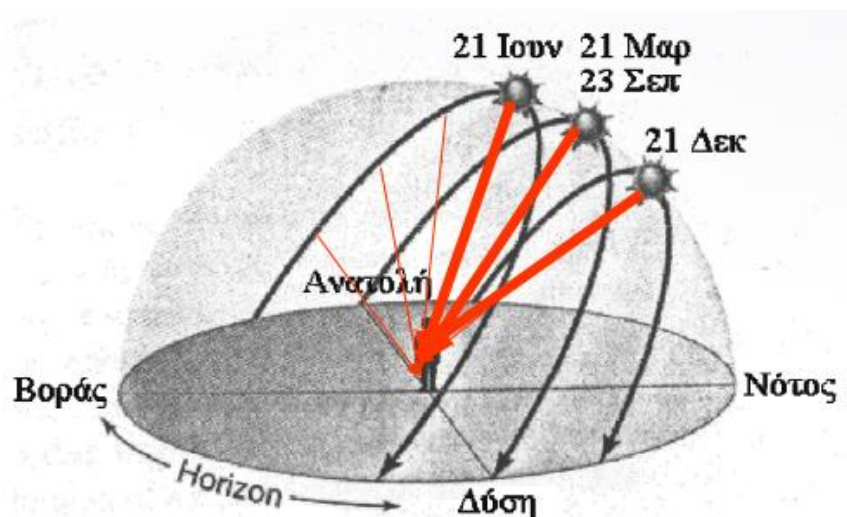
Στο ίδιο γεγονός με το φαινόμενο των εποχών οφείλεται και η διαφορετική διάρκεια ημέρας και νύχτας σε έναν τόπο, κατά τη διάρκεια ενός έτους. Δηλαδή στην κλίση του άξονα της γης ως προς το επίπεδο της τροχιάς της. Η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της γίνεται αντιληπτή από παρατηρητή που βρίσκεται σε κάποιο γεωγραφικό σημείο στην επιφάνεια της γης με βάση τη σχετική κίνηση που διαγράφει ο ήλιος στον ορίζοντα της γης. Καθώς η γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της διαγράφοντας τόξο 360° , η σχετική κίνηση του ήλιου ως προς τη γη εκτελείται σε κυκλική τροχιά, καλύπτοντας αντίστοιχα τόξο 360° . Η σχετική κίνηση του ήλιου γύρω από τη γη γίνεται βέβαια αντιληπτή από κάθε γεωγραφικό σημείο μόνο από την ανατολή έως τη δύση του, δηλαδή μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Γεωγραφικό πλάτος (φ) ενός τόπου είναι η απόσταση του από τον ισημερινό, η γωνία φ παίρνει θετικές τιμές (0 έως 90°) για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο (0 έως -90°). Σημεία με διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη έχουν διαφορετικούς χρόνους ανατολής και δύσης. Η διακύμανση του χρόνου ανατολής και δύσης στη διάρκεια ενός έτους είναι περισσότερο έντονη όσο το γεωγραφικό πλάτος μιας περιοχής αυξάνει. Για γεωγραφικά σημεία που βρίσκονται

πάνω στον ισημερινό, στα οποία υπάρχει πάντα ισημερία, η κίνηση του ήλιου στον ορίζοντα γίνεται πάντα αντιληπτή για τόξο 180° .

Κάποιες ημέρες του έτους η απόκλιση ηλίου – γης έχει ειδικές τιμές, οι οποίες διαμορφώνονται με βάση τις τιμές της απόκλισης του άξονα της γης. Συγκεκριμένα, για το βόρειο ημισφαίριο:

- Στις 21 Δεκεμβρίου έχουμε το χειμερινό ηλιοστάσιο. Η απόκλιση ηλίου – γης έχει τη μέγιστη τιμή της, ίση με $113,45^\circ$. Η διάρκεια της ημέρας είναι η μικρότερη για όλο τον χρόνο.
- Στις 21 Ιουνίου έχουμε το θερινό ηλιοστάσιο. Η απόκλιση ηλίου – γης έχει την ελάχιστη τιμή της, ίση με $66,55^\circ$. Η διάρκεια της ημέρας είναι η μεγαλύτερη για όλο τον χρόνο.
- Στις 21 Μαρτίου και στις 22 Σεπτεμβρίου έχουμε την εαρινή και τη φθινοπωρινή ισημερία αντίστοιχα. Η τιμή της απόκλισης ηλίου – γης είναι ίση με 90° . Η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας είναι ίδια.

Στο νότιο ημισφαίριο οι ισημερίες είναι κοινές. Τα δύο ηλιοστάσια για το νότιο ημισφαίριο είναι αντίθετα σε σχέση με αυτά του βόρειου ημισφαιρίου. Παρακάτω φαίνεται η διαδρομή του ηλίου από την ανατολή μέχρι τη δύση για διαφορετικές μέρες του χρόνου.



Σχήμα 2.5: Διαδρομή του ηλίου από την ανατολή μέχρι την δύση σε διαφορετικές εποχές

2.8.3 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ & ΚΛΙΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

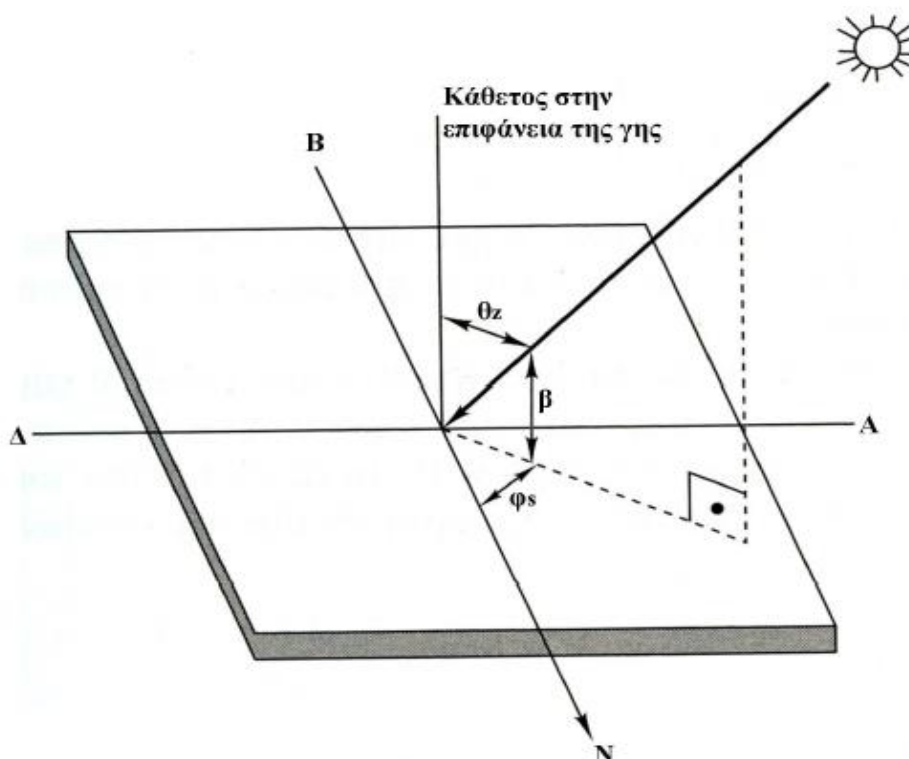
Για τον καλύτερο προσανατολισμό και κλίση των ηλιακών πλαισίων θα πρέπει η θέση του ήλιου στον ορίζοντα ως προς ένα γεωγραφικό σημείο στην επιφάνεια της γης να προσδιορίζεται απόλυτα. Αυτό το πετυχαίνουμε με τη βοήθεια δύο γωνιών, τη γωνία

ζενίθ, δηλαδή του ηλιακού ύψους με την συμπληρωματική γωνία του, και του αζιμούθιου του ήλιου. Με τη βοήθεια του παρακάτω σχήματος αναλύονται οι γωνίες αυτές.

- Το ηλιακό ύψος β του ήλιου ως προς συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο, είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει αυτό το γεωγραφικό σημείο με τη θέση του ήλιου στον ορίζοντα και στην προβολή αυτής της ευθείας στην επιφάνεια της γης. Το ηλιακό ύψος θεωρητικά παίρνει τιμές από 0 έως 90° .

- Η γωνία ζενίθ θ_z του ήλιου ως προς συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει αυτό το γεωγραφικό σημείο με τη θέση του ήλιου στον ορίζοντα και στην κατακόρυφη ως προς την επιφάνεια της γης με το συγκεκριμένο σημείο. Η γωνία ζενίθ και το ηλιακό ύψος είναι συμπληρωματικές γωνίες, δηλαδή: $\beta + \theta_z = 90^\circ$. Η γωνία ζενίθ θεωρητικά παίρνει τιμές από 0 έως 90° .

- Το αζιμούθιο φ_s του ήλιου ως προς συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή στο οριζόντιο επίπεδο της ευθείας που ενώνει το εν λόγω σημείο με τη θέση του ήλιου στον ορίζοντα και στη διεύθυνση βορρά - νότου. Για νότιο προσανατολισμό ισούται με μηδέν ($\varphi_s = 0$), για γωνίες δυτικά από το νότο παίρνει θετικές τιμές και για γωνίες ανατολικά από το νότο παίρνει αρνητικές τιμές.



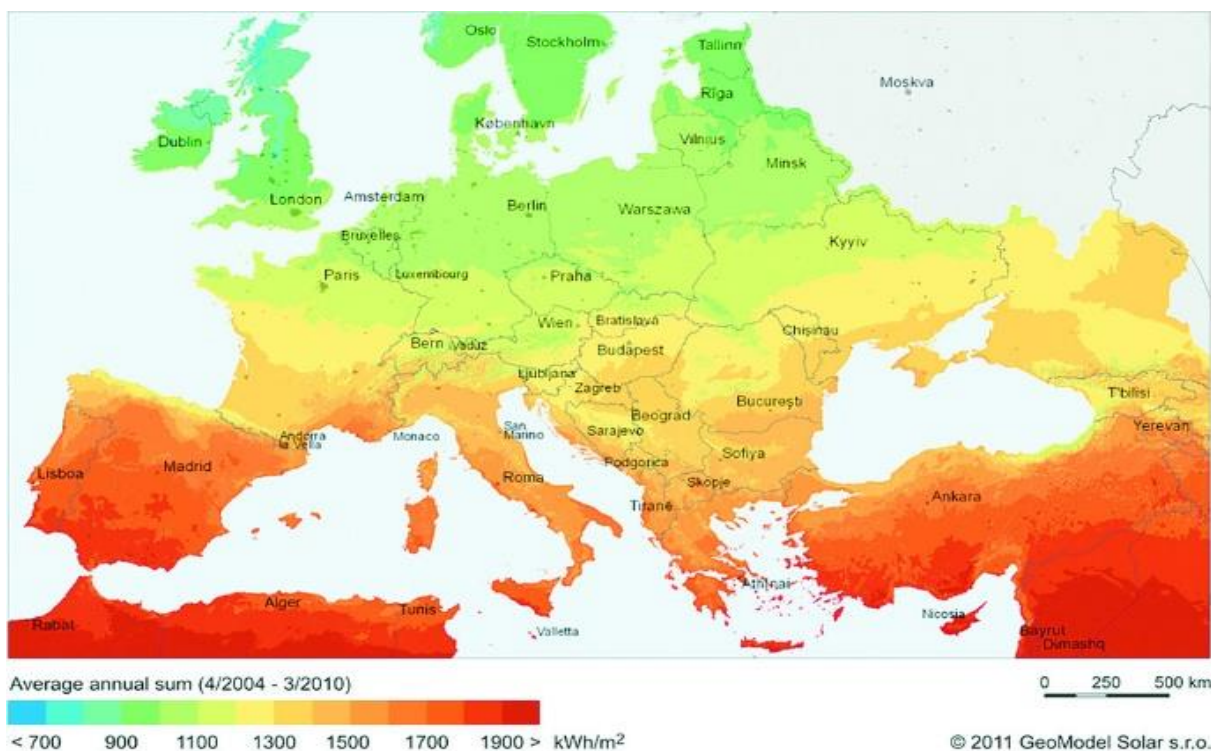
Σχήμα 2.6: Ηλιακό ύψος β , γωνία ζενίθ θ_z και αζιμούθια γωνία φ_s

Πίνακας 2.1: Ηλιακή ακτινοβολία ανάλογα την κλίση για διάφορες περιοχές της Ελλάδας

	κλίση σε μοίρες				
	0°	30°	45°	60°	90°
Αθήνα	1 581	1730	1680	1549	1090
Θεσ/κη	1 403	1544	1505	1395	1000
Κόρινθος	1 526	1666	1617	1490	1050
Πάρος	1 629	1751	1685	1538	1058
Πάτρα	1 479	1611	1563	1441	1018
Χανιά	1 630	1738	1667	1517	1033

Συνεπώς καταλαβαίνουμε πόσο σημαντικό είναι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο να έχει τη βέλτιστη κλίση και τον καλύτερο προσανατολισμό, έτσι ώστε να αποδώσει καλύτερα μέσα στη διάρκεια της μέρας, αλλά και κατά τη διάρκεια του έτους, με βάση το γεωγραφικό σημείο που βρίσκεται. Το ιδανικό θα ήταν να ακολουθούμε την πορεία του ήλιου με βάσεις συλλεκτών δύο αξόνων που το κάνουν αυτόματα, αλλά πρακτικά είναι δύσκολη και όχι πάντα συμφέρουσα λύση. Οπότε, για σταθερούς συλλέκτες στο βόρειο ημισφαίριο, η τοποθέτηση γίνεται με αζιμούθια γωνία ίση με το μηδέν, δηλαδή κατεύθυνση προς το νότο και οριζόντια κλίση ανάμεσα σε 30-45° ανάλογα την περιοχή, έτσι ώστε κατά τη μεσημβρία να δέχονται κάθετα τις ακτίνες του ήλιου και να έχουμε την καλύτερη δυνατή αποδιδόμενη ισχύ.

Παρακάτω φαίνεται η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε περιοχές στο βόρειο ημισφαίριο και βλέπουμε πόσο σημαντικό ρόλο έχει το γεωγραφικό σημείο της εγκατάστασης ενός συστήματος.



Σχήμα 2.7: Μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στην Ευρώπη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ

Η καλή ποιότητα των φωτοβολταϊκών πάνελ και του αντιστροφέα παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην απόδοση της εγκατάστασης αρχικά, και έπειτα στη διάρκεια της ζωής του συστήματος, για αυτό η επιλογή τους πρέπει να γίνει υπολογίζοντας όλες τις απαραίτητες παραμέτρους, αν θέλουμε το σύστημα μας να γίνει κερδοφόρο. Το συγκεκριμένο σύστημα είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού, έχοντας δυο μετρητές, ένα για την πώληση του παραγομένου ρεύματος και ένα για την ιδιοκατανάλωση. Παρακάτω θα γίνει περεταίρω ανάλυση των στοιχείων της εγκατάστασης.

3.1.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ

Η επιλογή του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι δύσκολη απόφαση. Σε αυτό βοηθάει η πληθώρα των κατασκευαστικών εταιριών και των πλαισίων που είναι διαθέσιμα στην αγορά. Οι σημαντικότεροι παράγοντες για την επιλογή τους είναι η συνολική εγκατεστημένη ισχύ που θέλουμε να πετύχουμε, η αξιοπιστία της κατασκευάστριας εταιρίας, η απόδοση τους, οι διαστάσεις τους και φυσικά το κόστος. Για ακόμα μεγαλύτερη αξιοπιστία της εγκατάστασης μπορούμε να μελετήσουμε πολλούς ακόμα παράγοντες, όπως έχουμε ήδη προαναφέρει. Τα πάνελ που εγκαταστάθηκαν στην συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι της εταιρίας SILIKEN και αποτελούνται από 60 πολυκρυσταλλικές κυψέλες πυριτίου μέγιστης ισχύς 235 W. Ο μέγιστος βαθμός απόδοσης είναι 14,47%. Η εγγυημένη θετική ανοχή από 0 έως 3% διασφαλίζει την αξιοπιστία στην παραγόμενη ισχύ του. Παρακάτω θα δούμε πιο αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου πάνελ:

DC Electrical Characteristics

- STC Power Rating 235W
- PTC Power Rating 209.7W
- STC Power per unit of area 144.7W/m² (13.4W/ft²)
- Peak Efficiency 14.47%
- Power Tolerances 0%/+3%
- Number of Cells 60
- Nominal Voltage not applicable
- Imp 7.97A
- Vmp 29.5V
- Isc 8.47A
- Voc 36.9V
- NOCT 49°C
- Temp. Coefficient of Power -0.43%/K

- Temp. Coefficient of Voltage -0,131V/K
- Series Fuse Rating 15A
- Maximum System Voltage 600V
- Type Polycrystalline Silicon
- Output Terminal Type Multicontact Connector Type 4
- Frame Color Black
- Backsheet Color data not available
- Length 1.640mm (64,6in)
- Width 990mm (39in)
- Depth 40mm (1,6in)
- Weight 19kg (41,9lb)
- Installation Method Rack-Mounted

Warranty and Certifications

- 80% Power Output Warranty Period 25yrs
- 90% Power Output Warranty Period 10yrs
- Workmanship Warranty Period 5yrs
- UL 1703 Fire Classification data not available
- Compliances UL 1703
- CSI Listed Yes

3.1.2 INVERTER

Η επιλογή του inverter (αντιστροφέα) είναι εξίσου σημαντική με αυτή των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Υπάρχουν πολλοί τύποι στην αγορά και πρέπει να διαλέξουμε τον κατάλληλο, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εγκατάστασης. Για διασυνδεδεμένα συστήματα έχουν ειδικές διατάξεις λειτουργίας, όπως αυτές του σκανδαλισμού, της διάγνωσης και του εύρους λειτουργίας. Να τονίσουμε ότι σε καμία περίπτωση δεν πρέπει η ονομαστική ισχύς του αντιστροφέα να ταυτιστεί με την μέγιστη ισχύ που μπορούν να παραγάγουν τα πάνελ. Συνεπώς η ισχύς είναι ο μεγαλύτερος παράγοντας για την επιλογή του αντιστροφέα. Από την ισχύ εξαρτάται και τον αν θα είναι τριφασικός ή μονοφασικός ο αντιστροφέας, συγκεκριμένα, όπως έχουμε προαναφέρει για έως και 5KW ισχύ θα είναι μονοφασικός, ενώ για πάνω από 5KW θα είναι τριφασικός.

Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκε τριφασικός αντιστροφέας της εταιρίας SolarEdge μοντέλο SE10K, μέγιστης ισχύος 10KVA και μέγιστης απόδοσης 98%, ο οποίος καλύπτει όλες τις απαιτήσεις για την σύνδεση στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Παρακάτω θα δούμε πιο αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του:

OUTPUT		
Rated AC Power Output	10000	VA
Maximum AC Power Output	10000	VA
AC Output Voltage - Line to Line / Line to Neutral (Nominal)	380 / 220 , 400 / 230	Vac
AC Output Voltage - Line to Neutral Range	184 - 264.5	Vac
AC Frequency	50/60 ± 5	Hz
Maximum Continuous Output Current (per Phase)	16	A
Residual Current Detector / Residual Current Step Detector	300 / 30	mA
Grids Supported - Three Phase	3 / N / PE (WYE with Neutral)	V
Utility Monitoring, Islanding Protection, Configurable Power Factor, Country Configurable Thresholds		Yes
INPUT		
Maximum DC Power (Module STC)	13500	W
Transformer-less, Ungrounded	Yes	
Maximum Input Voltage	900	Vdc
Nominal DC Input Voltage	750	Vdc
Maximum Input Current	17	Adc
Reverse-Polarity Protection	Yes	
Ground-Fault Isolation Detection	700kΩ Sensitivity	
Maximum Inverter Efficiency	98	%
European Weighted Efficiency	97.6	%
Nighttime Power	< 2.5	W

Consumption		
ADDITIONAL FEATURES		
Supported Communication Interfaces(3)	RS485, Ethernet, Zigbee (optional), Wi-Fi (optional), Built-in GSM (optional)	
STANDARD COMPLIANCE		
Safety	IEC-62103 (EN50178), IEC-62109	
Grid Connection Standards	VDE 0126-1-1, VDE-AR-N-4105, AS-4777, G83 / G59	
Emissions	IEC61000-6-2, IEC61000-6-3 , IEC61000-3-11, IEC61000-3-12, FCC part15 class B	
RoHS	Yes	
INSTALLATION SPECIFICATIONS		
AC Output	Cable Gland - diameter 15-21	mm
DC Input	2 MC4 pairs	
Dimensions (HxWxD)	540 x 315 x 260	mm
Weight	33.2	kg
Operating Temperature Range	-20 - +60 (M40 version -40 - +60)	°C
Cooling	Fan (user replaceable)	
Noise	< 50	dBA
Protection Rating	IP65 - Outdoor and Indoor	
Bracket Mounted (Bracket Provided)		

3.1.3 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ

Η συνδεσμολογία του συστήματος πρέπει να γίνεται με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πάνελ και του αντιστροφέα. Η μέγιστη ένταση που αναμένεται στην DC είσοδο του αντιστροφέα υπολογίζεται με βάση το γινόμενο του ρεύματος βραχυκύκλωσης (I_{SC}) του πλαισίου επί των αριθμό των παράλληλων κλάδων που έχουν συνδεθεί, ενώ η μέγιστη αναμενόμενη τάση στην DC είσοδο του αντιστροφέα υπολογίζεται με βάση το γινόμενο της τάσης ανοικτού κυκλώματος (V_{OC}) του πλαισίου επί τον αριθμό των πλαισίων που βρίσκονται σε σειρά.

Στην εν λόγω εγκατάσταση για να παραχθεί η ισχύς που θέλουμε, δηλαδή 10KW, ύστερα από έλεγχο των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των φωτοβολταϊκών γεννητριών και του αντιστροφέα, τοποθετήθηκαν 40 φωτοβολταϊκά πάνελ σε δύο στοιχειοσειρές(string) των 20 πάνελ. Οπότε υπολογίζουμε:

-Μέγιστη αναμενόμενη τάση στην DC είσοδο: 20 πάνελ x 36,9V (V_{OC})= 738V
(STC συνθήκες)

-Μέγιστη αναμενόμενη ένταση στην DC είσοδο: 2 παράλληλοι κλάδοι x 8,47A (I_{SC}) = 16,94A (STC συνθήκες)

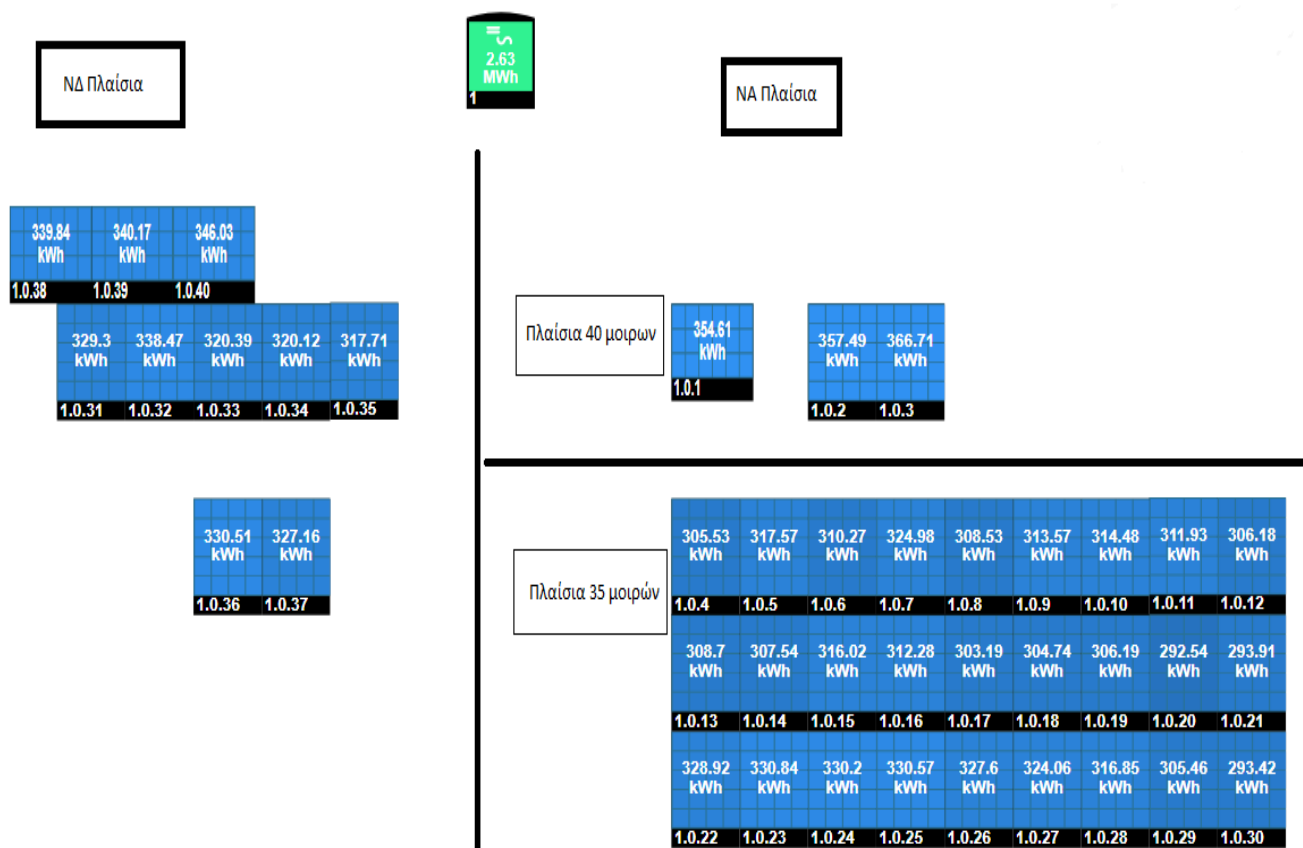
Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα:

Μέγιστη τάση DC εισόδου: 900Vdc

Ονομαστική τάση DC εισόδου: 750 Vdc

Μέγιστο ρεύμα DC εισόδου: 17Adc

Άρα η συνδεσμολογία είναι σύμφωνη με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα. Παρακάτω θα δούμε την διάταξη με τον προσανατολισμό τον πάνελ.



Σχήμα 3.1: Διάταξη πάνελ στέγης

3.2 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΝΕΡΑΤΖΑΣ

Σύμφωνα με την ιστοσελίδα της Photovoltaic Geographical Information System, μπορούμε να υπολογίσουμε προσεγγιστικά την απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος από την ακτινοβολία οποιασδήποτε περιοχής. Μπορούμε επίσης να δούμε την βέλτιστη κλίση για κάθε μήνα και την μέση θερμοκρασία όλου του 24ώρου για κάθε μήνα. Παρακάτω θα δούμε την ηλιακή ακτινοβολία για διάφορες κλίσεις για την περιοχή

του εγκατεστημένου συστήματος που μελετάμε, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Νεράτζας με γεωγραφικό πλάτος 37°58'49" Β και γεωγραφικό μήκος 22°46'45" Α.

Optimal inclination angle is: 32 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

H_h: Irradiation on horizontal plane (Wh/m²/day)

H_{opt}: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m²/day)

H(38): Irradiation on plane at angle: 38deg. (Wh/m²/day)

l_{opt}: Optimal inclination (deg.)

T_{24h}: 24 hour average of temperature (°C)

N_{DD}: Number of heating degree-days (-)

Month	H _h	H _{opt}	H(38)	I _{opt}	T _{24h}	N _{DD}
Jan	2250	3580	3740	61	9.2	269
Feb	3010	4190	4310	53	10.1	223
Mar	4690	5770	5820	41	12.1	179
Apr	5930	6400	6320	26	15.4	42
May	6950	6790	6570	13	19.4	0
Jun	7890	7300	6990	6	23.5	0
Jul	7730	7320	7030	9	26.7	0
Aug	6790	7080	6930	21	27.3	0
Sep	5450	6480	6490	36	24.1	0
Oct	3830	5180	5300	49	18.9	51
Nov	2580	4020	4180	59	15.1	151
Dec	1870	3050	3200	63	10.4	237
Year	4920	5600	5580	32	17.7	1152

Πίνακας3.1: Ηλιακή ακτινοβολία για την περιοχή Νεράτζα σε διάφορες κλίσεις

Το καλοκαίρι η βέλτιστη κλίση τείνει προς το επίπεδο (0 μοίρες), ενώ τον χειμώνα είναι γύρω στις 60 μοίρες. Για αυτό η μέση βέλτιστη κλίση είναι κάπου ανάμεσα σε 29 με 45 μοίρες. Παρατηρούμε ότι σαν μέση βέλτιστη κλίση για όλο τον χρόνο μας δίνει τις 32 μοίρες, αλλά η συνολική διαφορά με τις 38 μοίρες είναι αμελητέα. Οι τιμές αυτές διαφέρουν λίγο από τις πραγματικές όπως θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑΣ

Το σύστημα τηλεμετρίας είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για κάθε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ανεξαρτήτου ισχύος. Το συγκεκριμένο σύστημα υπάρχει για να ειδοποιεί και να ενημερώνει τον ιδιοκτήτη της εγκατάστασης για την σωστή λειτουργία της. Κάθε εταιρία κατασκευής inverter κατασκευάζει και το αντίστοιχο σύστημα τηλεμετρίας που άλλοτε είναι ενσωματωμένο στον inverter και άλλοτε όχι. Αν για οποιοδήποτε λόγο υπάρχει κάποια βλάβη στο σύστημα και δε γίνει άμεσα αντιληπτή μπορεί να κοστίσει στη παραγωγή ενέργειας, ειδικά αν η εγκατάσταση βρίσκεται σε μακριά από τον τόπο διαμονής του ιδιοκτήτη, πχ σε κάποια εξοχική κατοικία, η βλάβη μπορεί να γίνει αντιληπτή μετά από πολλές μέρες ή και βδομάδες. Για την επικοινωνία του συστήματος με τον εκάστοτε ιδιοκτήτη χρειάζεται να γίνει σύνδεση με το διαδίκτυο. Οι αντιστροφείς συνήθως μπορούν να συνδεθούν με το διαδίκτυο είτε με απευθείας σύνδεση, ενσύρματα με έναν αγωγό RJ45 ή ασύρματα με Wi-Fi, είτε με χρήση κάρτας GSM modem σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η ύπαρξη διαδικτύου, για παράδειγμα αν η εγκατάσταση βρίσκεται μακριά από τον τόπο διαμονής του ιδιοκτήτη, μπορεί να ειδοποιηθεί μέσω της τηλεμετρίας είτε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, είτε σε κινητό τηλέφωνο.

Για τη χρήση της τηλεμετρίας μέσω του μόντεμ GSM χρειάζεται μια κάρτα δεδομένων με συμβόλαιο από έναν πάροχο κινητής τηλεφωνίας. Το λογισμικό GSM-Link επιτρέπει την ελεύθερη επιλογή του πάροχου κινητής τηλεφωνίας. Από τη χρήση του μόντεμ προκύπτει ένα μικρό επιπλέον κόστος για τον πελάτη κάθε μήνα. Ο πάροχος που θα επιλέξουμε πρέπει να έχει αρκετά δυνατό σήμα στη περιοχή, ενώ το τιμολόγιο πρέπει να επιτρέπει την επικοινωνία πακέτων δεδομένων μέσω GPRS. Επίσης το τιμολόγιο πρέπει να επιτρέπει όγκο δεδομένων τουλάχιστον 5MB ανά μήνα. Ο ιδιοκτήτης, δε ενημερώνεται μόνο για βλάβες και αναφορές, αλλά έχει τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης σχετικά με τη παραγωγή ενέργειας, σε ημερήσια, μηνιαία αλλά και ετήσια βάση. Τα δεδομένα αποθηκεύονται στην ιστοσελίδα της εταιρίας και μπορεί όποτε θελήσει να δει λεπτομέρειες όπως, για την τάση και τα ρεύματα που παράγονται, ακόμα και ποια πάνελ έχουν την καλύτερη επίδοση. Στη συγκεκριμένη εγκατάσταση, επειδή πρόκειται για εξοχική κατοικία, χρησιμοποιείται σύστημα κάρτας GSM modem.

3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων ξεκίνησε την 1η Ιουλίου 2009 στην Ηπειρωτική Χώρα και στα Διασυνδεδεμένα σε αυτή Νησιά και αφορά όλη την επικράτεια. Ως μέγιστη ισχύς των ΦΒ συστημάτων ανά εγκατάσταση ορίζεται για την ηπειρωτική χώρα, τα Διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό Σύστημα Νησιά και την Κρήτη τα 10 kWp. Δικαίωμα ένταξης στο πρόγραμμα των ΦΒ συστημάτων έχουν φυσικά πρόσωπα μη επιτηδευματίες, φυσικά ή νομικά πρόσωπα επιτηδευματίες που κατατάσσονται στις

πολύ μικρές επιχειρήσεις. Απαραίτητες προϋποθέσεις για την ένταξη στο πρόγραμμα είναι:

- Η ύπαρξη ενεργού σύνδεσης κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος στο όνομα του κυρίου του Φωτοβολταϊκού, στο κτίριο στο οποίο εγκαθίσταται το σύστημα.
- Η κάλυψη μέρους των αναγκών σε ζεστό νερό με την χρήση Α.Π.Ε. όπως ενδεικτικά η ύπαρξη ηλιακού θερμοσίφωνα.
- Η μη χρηματοδότηση από άλλο πρόγραμμα.

Από την στιγμή που πληρούνται οι προϋποθέσεις, τότε ο κύριος του ΦΒ συστήματος μαζί με τον υπεύθυνο μηχανικό της εγκατάστασης θα πρέπει να συμπληρώσουν όλα τα απαραίτητα έγγραφα που χρειάζεται για τη ΔΕΗ. Για το συγκεκριμένο πρόγραμμα απαιτείται η εξής διαδικασία:

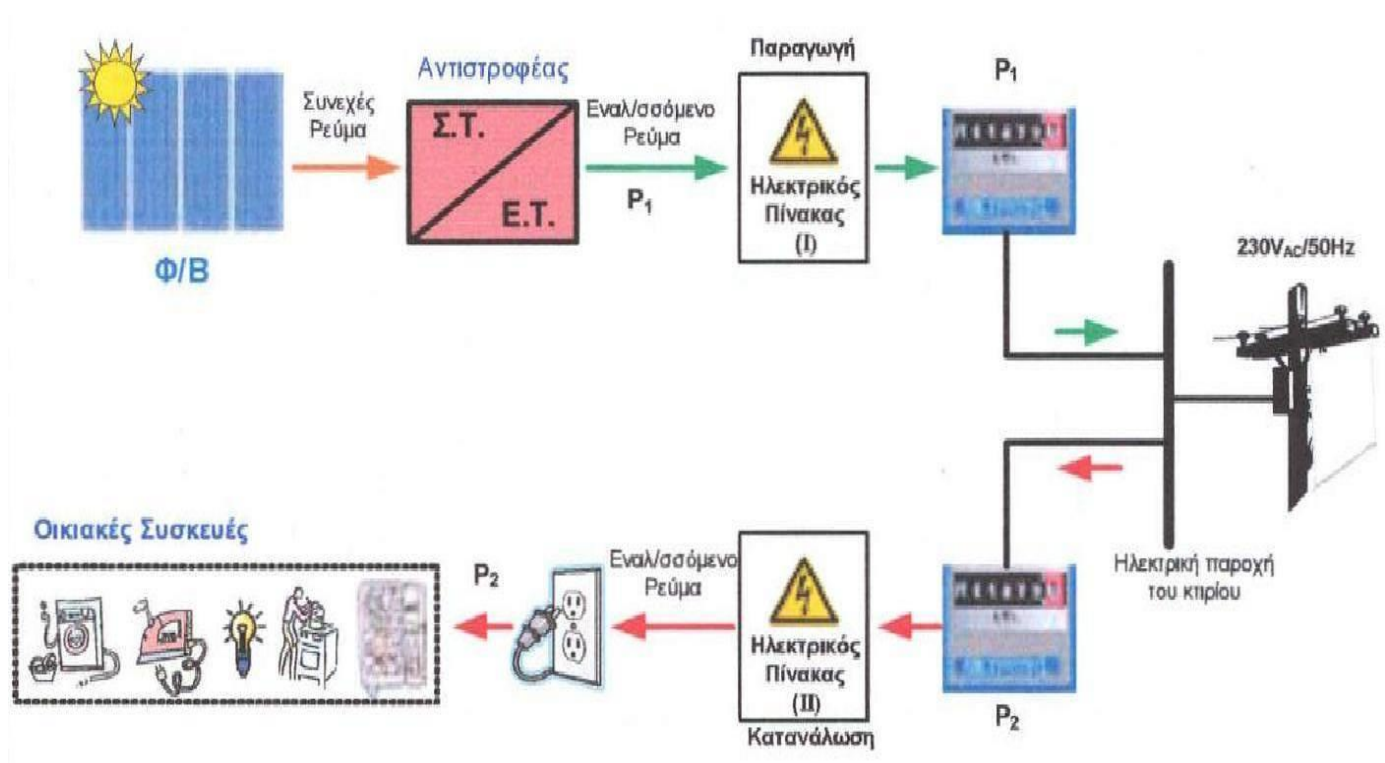
- Υποβολή αίτησης σύνδεσης σε τοπική μονάδα δικτύου. Προϋπόθεση είναι ο ενδιαφερόμενος να έχει ήδη επιλέξει τον τύπο του εξοπλισμού που θα εγκαταστήσει και να έχει εκπονηθεί η σχετική τεχνική μελέτη.
- Έπειτα από την εξέταση του αιτήματος εντός 20 ημερών, πρέπει να γίνει παραλαβή της Προσφοράς Σύνδεσης η οποία περιλαμβάνει την περιγραφή και τη δαπάνη των έργων σύνδεσης και ισχύει για τρεις μήνες από την ημερομηνία έκδοσής της.
- Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει αίτηση κατάρτισης της Σύμβασης Σύνδεσης στην Περιοχή η οποία αναφέρει ότι γίνεται αποδεκτή η Προσφορά. Η Περιοχή ειδοποιεί τον ενδιαφερόμενο να προσέλθει για την καταβολή της δαπάνης των έργων σύνδεσης και την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης. Η Περιοχή κατασκευάζει τα έργα σύνδεσης εντός είκοσι ημερών από την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης, εφόσον δεν απαιτούνται νέα έργα Δικτύου.
- Μετά την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης υποβάλλεται αίτηση για την υπογραφή Σύμβασης Συμψηφισμού από τον κύριο του ΦΒ συστήματος προς τον Προμηθευτή με τον οποίο έχει Σύμβαση Προμήθειας ως καταναλωτής. Η διαδικασία ολοκληρώνεται συνήθως εντός 15 ημερών, από την ημερομηνία παραλαβής του αιτήματος.

Η ενεργοποίηση της σύνδεσης του ΦΒ συστήματος πραγματοποιείται από την αρμόδια Περιοχή

- μετά την παραλαβή αντιγράφου της Σύμβασης Συμψηφισμού από τον Προμηθευτή ή τον δικαιούχο
- την υποβολή Υπεύθυνης Δήλωσης Μηχανικού κατάλληλης ειδικότητας με τα αναγκαία συνημμένα σε αυτή και

- την υποβολή Υπεύθυνης Δήλωσης του κυρίου του ΦΒ συστήματος με την οποία θα δεσμεύεται ότι δεν θα προβεί σε οποιαδήποτε τροποποίηση στην εγκατάσταση του ΦΒ συστήματος.

Το ΦΒ σύστημα συνδέεται στο δίκτυο Χαμηλής Τάσης κάνοντας χρήση της ίδιας παροχής μέσω της οποίας τροφοδοτούνται οι καταναλώσεις του κτιρίου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Με αυτό τον τρόπο η μέτρηση της παραγόμενης από το ΦΒ σύστημα ενέργειας και η μέτρηση της ενέργειας που καταναλώνεται από την εγκατάσταση συσχετίζονται και κατ' ουσία συνιστούν ενιαίο σύνολο και για το λόγο αυτό η σύνδεση αντιστοιχεί σε υφιστάμενο αριθμό παροχής της ιδιοκτησίας του κυρίου του ΦΒ συστήματος. Η μικρή ισχύς των ΦΒ συστημάτων εξασφαλίζει ότι η παραγόμενη ενέργεια αντιστοιχεί σε αυτήν που απαιτείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κυρίου του συστήματος, θεωρώντας κατ' ουσία τον τελευταίο ως «οιονεί» αυτοπαραγωγό και για το λόγο αυτό δόθηκε υψηλή τιμή και απαλλαγή από φορολόγηση του εισοδήματος από την πώληση της ενέργειας του ΦΒ συστήματος.



Εικόνα3.1: Σύνδεση ΦΒ συστήματος με το δίκτυο

3.4.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΕΙΣ ΔΕΗ

Για να γίνει διασύνδεση με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν κάποιες προϋποθέσεις οι οποίες πρέπει να πληρούνται για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία του δικτύου. Σε διαφορετική περίπτωση γίνεται απόζευξη του συστήματος που υπολειτουργεί, για να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του δικτύου. Οι τεχνικές αυτές διευκρινήσεις είναι οι εξής:

- Τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα ισχύος μέχρι 10 kW συνδέονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης, μέσω μονοφασικής παροχής προκειμένου για ισχύ μέχρι 5 kW και τριφασικής παροχής προκειμένου για ισχύ άνω των 5 kW και μέχρι τα 10 kW.
- Οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων των προστασιών ορίων τάσεως και συχνότητας στην έξοδο του αντιστροφέα θα πρέπει να είναι οι εξής:
Τάση : από +15% έως -20% επί της ονομαστικής (230V)
Συχνότητα : $\pm 0,5$ Hz της ονομαστικής (50Hz)
με πρόβλεψη ότι σε περίπτωση υπέρβασης των πιο πάνω ορίων ο αντιστροφέας θα τίθεται εκτός (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις :
-θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5 sec
-επανάζευξη του αντιστροφέα μετά από 3 min
- Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) του ρεύματος των αντιστροφέων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5%.
- Εφόσον οι αντιστροφείς δεν διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης, η έγχυση συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να περιορίζεται στο 0,5% του ονομαστικού.
- Η προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης είναι υποχρεωτική. Στο αντίστοιχο πεδίο του εντύπου αίτησης θα περιγράφεται η ακολουθούμενη μέθοδος, η οποία θα είναι σύμφωνη με το πρότυπο VDE 0126.
- Οι ανωτέρω προστασίες θα εμφανίζονται είτε στα τεχνικά εγχειρίδια των αντιστροφέων είτε στα πιστοποιητικά τους.

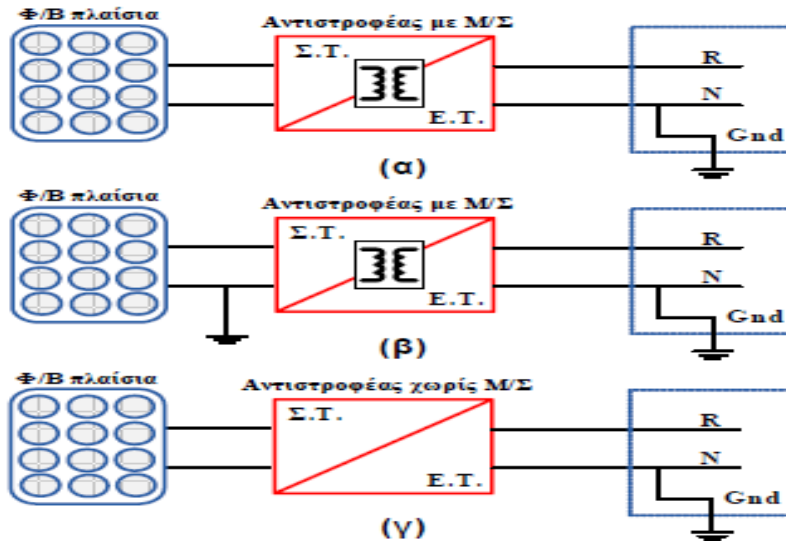
3.4.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΝΗΣΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ

Σαν 'φαινόμενο νησίδας' εννοούμε μια ανεπιθύμητη κατάσταση κατά την οποία ένα μέρος του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που εμπεριέχει κάποια απομονωμένα φορτία και μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής, όπως για παράδειγμα μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε οικία, συνεχίζει να ηλεκτροδοτείται, λόγω των παραπάνω μονάδων, ενώ το υπόλοιπο δίκτυο παραμένει εκτός λειτουργίας. Η αποσύνδεση του δικτύου μπορεί να γίνει για διάφορους λόγους, όπως η ανίχνευση κάποιου σφάλματος, η προγραμματισμένη διακοπή του δικτύου για λόγους συντήρησης, ανθρώπινο λάθος ή και λόγω κακών καιρικών συνθηκών με αποτέλεσμα την καταστροφή ενός μέρους του δικτύου. Η ανίχνευση του φαινομένου αυτού, αποτελεί ένα από τα βασικά κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούνται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση ενός κτηριακού Φ/Β συστήματος στο Ελληνικό ΣΗΕ, όπως εν γένει και των υπολοίπων διεσπαρμένων πηγών ενέργειας. Οι λόγοι που επιβάλλουν την ανίχνευση αυτών των καταστάσεων έγκειται στη διασφάλιση υψηλής ποιότητας παρεχόμενης ενέργειας στους καταναλωτές και κυρίως η ασφάλεια εγκαταστάσεων και προσώπων.

3.5 ΓΕΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η γείωση (άμεση ή ουδετέρωση, ανάλογα με την περιοχή) έχει σαν κύριο σκοπό την προστασία των εγκαταστάσεων παραγωγής και την ασφάλεια των προσώπων, για αυτό θα πρέπει να υπάρχει σε όλες τις εγκαταστάσεις και να γίνεται σύμφωνα με τους κανονισμούς. Δημιουργώντας μια κατασκευή, όπου όλες οι εκτεθειμένες επιφάνειες είναι συνδεδεμένες έμμεσα ή άμεσα με το σύστημα γείωσης απομακρύνουμε τον κίνδυνο ατυχήματος. Να σημειώσουμε ότι η γείωση ενός εκ των ακροδεκτών του αντιστροφέα στην πλευρά συνεχούς ρεύματος δεν είναι υποχρεωτική στις Ευρωπαϊκές χώρες, σε αντίθεση με τις Η.Π.Α.. Αυτό γίνεται διότι η γείωση ή μη της πλευράς Σ.Ρ. εξαρτάται από την τεχνολογία των Φ/Β πλαισίων και την τοπολογία του αντιστροφέα.

Οι Φ/Β συστοιχίες που διαμορφώνονται από συγκεκριμένα είδη πλαισίων (λεπτών επιστρώσεων, back-contact) γειώνονται με υπόδειξη του κατασκευαστή, προκειμένου να διασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία τους αλλά και η βελτιστοποίηση της απόδοσής τους. Ειδικότερα, τα Φ/Β πλαίσια λεπτών επιστρώσεων (thin film) με υλικά όπως το άμορφο πυρίτιο (a-Si) και το τελλουριούχο κάδμιο (CdTe), λόγω της τεχνολογίας κατασκευής τους (superstrate technology), παρουσιάζουν συνήθως υψηλό κίνδυνο διάβρωσης του στρώματος TCO, γεγονός που επιφέρει καταστρεπτικά για τα πλαίσια αποτελέσματα. Για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο, γειώνεται ο αρνητικός ακροδέκτης της Φ/Β πηγής. Το φαινόμενο αυτό δεν εμφανίζεται, βάσει των υφιστάμενων μελετών, σε Φ/Β πλαίσια thin film με άλλα υλικά (π.χ. CIS). Σε συστήματα με Φ/Β πλαίσια τεχνολογίας back – contact, επιβάλλεται (από τον κατασκευαστή) η γείωση του θετικού ακροδέκτη στην πλευρά Σ.Ρ. για βελτιστοποίηση της απόδοσης. Η γείωση σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να γίνει μέσω μεγάλης αντίστασης. Σε αυτές τις περιπτώσεις επιβάλλεται η χρήση αντιστροφέα με Μ/Σ απομόνωσης, εκτός αν πιστοποιείται από τον κατασκευαστή ότι ο επιλεγμένος τύπος αντιστροφέα (χωρίς Μ/Σ) είναι κατάλληλος για χρήση με τα πλαίσια που έχουμε επιλέξει. Όσον αφορά στα συνήθη κρυσταλλικά πλαίσια, δεν έχουν τεθεί ιδιαίτερες απαιτήσεις από τους κατασκευαστές ως προς τη γείωση ή μη των ακροδεκτών της πλευράς Σ.Ρ. Σε αυτές τις περιπτώσεις, εφόσον δεν γειώνονται ενεργά μέρη στην πλευρά ΣΡ, είναι δυνατή η χρήση αντιστροφέα χωρίς Μ/Σ απομόνωσης. Σε κάθε περίπτωση, ο μελετητής του συστήματος ακολουθεί τις οδηγίες του κατασκευαστή για τις ειδικές απαιτήσεις που προκύπτουν ανάλογα με την τεχνολογία των Φ/Β πλαισίων. Συνήθως οι κατασκευαστές αντιστροφέων, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, προτείνουν τον κατάλληλο εξοπλισμό ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου. Τονίζεται ότι, αν ο αντιστροφέας δεν περιλαμβάνει μετασχηματιστή απομόνωσης, η πλευρά Σ.Ρ. δεν γειώνεται. Αντίθετα όλα τα εκτεθειμένα μεταλλικά μέρη του Φ/Β εξοπλισμού (π.χ. βάσεις στήριξης και μεταλλικά μέρη των Φ/Β πλαισίων) γειώνονται υποχρεωτικά.



Σχήμα 3.2: Διαφορετικές συνδεσμολογίες γείωσης συστήματος

Στο παραπάνω σχήμα, στη περίπτωση α, παρουσιάζεται ένα Φ/Β σύστημα στο οποίο χρησιμοποιείται ένας αντιστροφέας με Μ/Σ και γείωση αυτού στη μεριά Ε.Π. Σε ένα τέτοιο σύστημα η δημιουργία σφάλματος μεταξύ ενός εκ των δύο αγωγών Σ.Π. και της γης δεν οδηγεί στη ροή ρευμάτων. Το ίδιο γενικά ισχύει και όταν ένας άνθρωπος (ο οποίος έρχεται σε επαφή με τη γη) ακουμπήσει έναν εκ των ενεργών αγωγών Σ.Π. Βέβαια, εάν τα πλαίσια είναι γειωμένα και δεν διαθέτουν κατάλληλη μόνωση, μπορεί να προκληθεί εκφόρτιση της παρασιτικής χωρητικότητας των πλαισίων μέσω του ανθρώπου προς τη γη (ρεύμα διαρροής). Γι' αυτό είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται πλαίσια με κατηγορία μόνωσης "Class II" σύμφωνα με τα αντίστοιχα πρότυπα. Τέλος, στα εν λόγω συστήματα απαιτείται η χρήση ειδικών συστημάτων επιτήρησης σφαλμάτων ως προς γη και συστημάτων αποσύνδεσης του αντιστροφέα (στη μεριά Σ.Π.), προκειμένου να αποφευχθούν ατυχήματα λόγω ηθελημένης ή μη γείωσης της μεριάς συνεχούς.

Στην περίπτωση β παρουσιάζεται ένα Φ/Β σύστημα στο οποίο χρησιμοποιείται ένας αντιστροφέας με Μ/Σ και γείωση αυτού τόσο στη μεριά Σ.Π. όσο και στη μεριά Ε.Π. Σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση, η δημιουργία ενός σφάλματος μεταξύ του αγείωτου αγωγού Σ.Π. και της γης οδηγεί στη ροή ρευμάτων, όπως επίσης και η επαφή ενός ανθρώπου (ο οποίος έρχεται σε επαφή με τη γη) με τον αγείωτο αγωγό Σ.Π. Ο μοναδικός τρόπος να διακοπεί η ροή ρευμάτων ως προς γη (περίπτωση σφάλματος), είναι η αποσύνδεση της μεριάς Σ.Π. από αυτή. Για την ασφάλεια των ανθρώπων απαιτείται η χρήση διάταξης ανίχνευσης του ρεύματος που ρέει προς τη γη από τον ηθελημένο γειωμένο αγωγό, ενώ τέλος τα ρεύματα διαρροής λόγω της παρασιτικής χωρητικότητας των πλαισίων ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά την αξιοπιστία της προαναφερθείσας διάταξης.

Στην περίπτωση γ παρουσιάζεται ένα Φ/Β σύστημα στο οποίο χρησιμοποιείται ένας αντιστροφέας χωρίς Μ/Σ και γείωση αυτού στη μεριά Ε.Π. Μολονότι η πλευρά Σ.Π. δεν γειώνεται άμεσα, σε ορισμένες περιπτώσεις (ανάλογα με την τοπολογία του αντιστροφέα) η γείωση στη μεριά Ε.Π. γίνεται "ορατή" στη μεριά Σ.Π. Στην περίπτωση που είτε τα πλαίσια είναι γειωμένα και δεν διαθέτουν κατάλληλη μόνωση είτε προκληθεί

λόγω σφάλματος μη θελημένη γείωση αυτών προκαλείται εκφόρτιση της παρασιτικής χωρητικότητας των πλαισίων μέσω του αντιστροφέα προς τη γη (ρεύμα διαρροής). Για την ασφάλεια των ανθρώπων απαιτείται η χρήση διάταξης ανίχνευσης των ρευμάτων διαρροής. Βέβαια, η ρύθμιση του ορίου ενεργοποίησης της παραπάνω διάταξης χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή (καθορισμός ανώτατου και κατώτατου ορίου, απότομες μεταβολές). Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε όλες τις περιπτώσεις η τάση στα άκρα της Φ/Β συστοιχίας δύναται να είναι αρκετά υψηλή αλλά και η έξοδος του αντιστροφέα συνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο Χ.Τ, τεκμαίρεται ότι, η τάση σε ορισμένα εξαρτήματα του αντιστροφέα μπορεί να είναι δύο ή και τρεις φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική τάση του δικτύου. Συνεπώς, σηματοδοτείται η ανάγκη γειώσεως του μεταλλικού περιβλήματος του μετατροπέα προκειμένου να αποφεύγεται ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο μειώνεται και η ενδεχόμενη ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση που μπορεί να προκληθεί από τη διακοπτική λειτουργία του κυκλώματος ισχύος σε παρακείμενες ηλεκτρικές συσκευές.

Τονίζεται τέλος ότι η γείωση του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού μπορεί να επιφέρει σοβαρά προβλήματα στην περίπτωση που η μόνωση των πλαισίων δεν είναι κατάλληλης τάξης. Από την άλλη πλευρά, μολονότι η χρήση αγείωτων Φ/Β πλαισίων περιορίζει τον παραπάνω κίνδυνο, αυξάνει τον κίνδυνο καταστροφής των πλαισίων σε ένα ενδεχόμενο κεραυνικό πλήγμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις η γείωση των πλαισίων είναι επιβεβλημένη από τον κατασκευαστή. Η εγκατάσταση μας ανήκει στην περίπτωση γ και συνεπώς δεν χρειάζεται να γειώσουμε την πλευρά του Σ.Ρ. διότι τα πλαίσια είναι πολυκρυσταλλικού πυριτίου και ο αντιστροφέας δεν έχει γαλβανική απομόνωση. Να τονίσουμε ότι η γείωση μας αποτελείται από έναν πολυγωνικό σχηματισμό από ηλεκτρόδια γείωσης και επειδή βρίσκεται σε κήπο, η τιμή της ικανοποιεί τις ανάγκες προστασίας και λειτουργίας της εγκατάστασης, βάσει των προτύπων, όπου η ελάχιστη τιμή της αντίστασης γείωσης δε πρέπει να ξεπερνάει τα 14,1Ω.

3.5.1 ΥΠΕΡΤΑΣΕΙΣ & ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Η προστασία από υπερτάσεις αλλά και από κεραυνούς είναι πολύ σημαντική για τις φωτοβολταϊκές κτηριακές εγκαταστάσεις, καταρχάς για την ασφάλεια των ανθρώπων και έπειτα για την προστασία της εγκατάστασης, για την οποία έχουμε επενδύσει πολλά και δεν θέλουμε να καταστραφούν όλα σε μια στιγμή. Για αυτό θα πρέπει η υλοποίηση αυτών των μέτρων προστασίας να γίνεται σύμφωνα με όλα τα πρότυπα και την ισχύουσα νομοθεσία. Ο ρόλος της εγκατάστασης αντικεραυνικής προστασίας είναι να συλλάβει τον κεραυνό πριν αυτός πλήξει την υπό προστασία κατασκευή, να διοχετεύσει το ρεύμα του κεραυνού από το σημείο πλήγματος στη γη και να το διαχέει στο έδαφος χωρίς να προκαλεί θερμικές και υλικές ζημιές στην εγκατάσταση και επικίνδυνες υπερτάσεις για τους ανθρώπους και το υλικό.

Μια τυπική εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας αποτελείται από:

- το συλλεκτήριο σύστημα που προορίζεται να δέχεται τους κεραυνούς.
- τους αγωγούς καθόδου οι οποίοι καθορίζουν την όδευση του ρεύματος του κεραυνού από το συλλεκτήριο σύστημα προς τη γη.
- το σύστημα γείωσης που άγει και διαχέει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος.

Όλα τα στοιχεία που βρίσκονται εντός της προστατευμένης περιοχής, πρέπει να καλύπτονται από το εξωτερικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας.

Ανάλογα με την προέλευση τους, οι υπερτάσεις μπορούν να έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και να απαιτούν διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης. Οι υπερτάσεις μεγάλης διάρκειας (ms έως s) οφείλονται στη ποιότητα του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και αντιμετωπίζονται με σταθεροποιητές τάσεως. Πρακτικά οι κατασκευαστές αντιστροφών, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι το ηλεκτρικό δίκτυο διανομής ενέργειας είναι σε κακή κατάσταση, ρυθμίζουν τους αντιστροφείς έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν σε μεγάλα εύρη συχνότητας και τάσης.

Η άλλη κατηγορία υπερτάσεων, οι κρουστικές, προέρχονται από χειρισμούς διακοπών και από κεραυνούς. Οι κρουστικές υπερτάσεις έχουν μικρή διάρκεια (μs) αλλά μεγάλη απόλυτη τιμή (kV) και αντιμετωπίζονται με τους απαγωγούς κρουστικών υπερτάσεων. Οι πιο καταστροφικές και δύσκολες σε αντιμετώπιση είναι οι υπερτάσεις οφειλόμενες σε κεραυνούς. Ο κεραυνός είναι μια φυσική ροή ρεύματος, από το οποίο προέρχονται οι κρουστικές υπερτάσεις. Οι κεραυνοί είναι ένα φυσικό φαινόμενο και συνεπώς δεν είναι όλοι όμοιοι μεταξύ τους, με αποτέλεσμα η ενέργεια και η μορφή τους κάθε φορά να διαφέρει. Οι περισσότερες περιπτώσεις σημαντικών καταστροφών και θανάτων προκαλούνται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και αστικά κέντρα, γεγονός που έρχεται σε αντίθεση με τη μέχρι τώρα εσφαλμένη εντύπωση ότι οι κεραυνοί δεν πλήττουν τις πόλεις. Η πιθανότητα και η συχνότητα κεραυνικού πλήγματος σε κάποιο κτίριο και στις εγκαταστάσεις του, είναι πολύ μεγαλύτερη να συμβεί σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπως στις πόλεις, λόγω του ότι η δόμηση είναι συνεχής και το ενδεχόμενο ο κεραυνός να πλήξει ένα κτίριο είναι μεγαλύτερο, σε σύγκριση με τις αραιοκατοικημένες περιοχές. Αν ένα κτίριο δεχθεί άμεσο κεραυνικό πλήγμα, οι ζημιές που μπορεί να προκληθούν σε αυτό αλλά και στα διπλανά του, υπό την προϋπόθεση ότι κανένα από αυτά δεν έχει εγκατεστημένη αντικεραυνική προστασία, είναι οι εξής:

- Ραγίσματα σε δομικά μέρη του, με συνέπεια τη μερική καταστροφή του.
- Επικίνδυνες βηματικές τάσεις και τάσεις επαφής εντός του κτιρίου, με κίνδυνο την ηλεκτροπληξία ατόμων που μπορεί να επιφέρει και θάνατο.
- Υπερτάσεις στα δίκτυα ύδρευσης, θέρμανσης, κλιματισμού και φυσικού αερίου, με κίνδυνο την ηλεκτροπληξία ατόμων, την ανάπτυξη επικίνδυνων σπινθήρων και την πρόκληση πυρκαγιάς.
- Υπερτάσεις στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις και στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, με κίνδυνο την καταστροφή τους και την πρόκληση πυρκαγιάς.

Με βάση τα πρότυπα, υπάρχει αναφορά ότι εάν μια κατασκευή δεχθεί ένα άμεσο κεραυνικό πλήγμα, το 50% του ρεύματος θα εκφορτιστεί στη τοπική γείωση της κατασκευής ενώ το υπόλοιπο 50% θα κατανεμηθεί στις υπόλοιπες εισερχόμενες αγωγίμες παροχές όπως μεταλλικοί σωλήνες ύδρευσης, μεταλλικοί σωλήνες φυσικού αερίου, ενεργειακή παροχή κτλ. Στην περίπτωση μας η Νεράτζα Κορινθίας συνολικά δέχεται επτά κεραυνούς ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο το χρόνο. Συνεπώς οι πιθανότητες η εγκατάσταση να δεχθεί άμεσο κεραυνικό πλήγμα είναι αρκετές, για αυτό υπάρχει στην εγκατάσταση αντικεραυνική προστασία, με το σύστημα αντικεραυνικής που αποτελείται

από την ακίδα σύλληψης, τους αγωγούς καθόδου και το σύστημα γείωσης και προστασία από υπερτάσεις με απαγωγούς υπερτάσεων, όπως αναλύεται παρακάτω.

Σκοπός του συστήματος είναι να προστατεύσει ανθρώπους και ηλεκτρικές/ηλεκτρονικές διατάξεις από κρουστικές υπερτάσεις. Όπως προβλέπεται από το πρότυπο, ο όγκος της κατασκευής που πρόκειται να προστατευθεί χωρίζεται σε ζώνες. Όπως γνωρίζουμε λοιπόν, μέσα σε κάθε ζώνη όλες οι συσκευές πρέπει να έχουν το ίδιο δυναμικό, κάτι το οποίο επιτυγχάνεται με την εφαρμογή των κύριων ισοδυναμικών συνδέσεων. Αυτές περιορίζουν τα διάφορα δυναμικά μεταξύ των μεταλλικών μερών και αγωγίμων εισερχόμενων παροχών στο σημείο εισόδου ενός κτιρίου και πάντα έχοντας ως σημείο αναφοράς το τοπικό ηλεκτρόδιο γείωσης. Οι κύριες ισοδυναμικές συνδέσεις πραγματοποιούνται στα σύνορα των ζωνών αντικεραυνικής προστασίας συνδέοντας όλα τα μεταλλικά μέρη απευθείας σε ισοδυναμικούς δεσμούς, ενώ οι ενεργές παροχές συνδέονται μέσω απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων. Οι τύποι των απαγωγών ενεργειακών δικτύων χαμηλής τάσεως χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, σύμφωνα με τα πρότυπα, οι οποίες εξηγούνται παρακάτω:

1)TYPE1 (T1)- Class I, πρωτεύουσα προστασία από κεραυνικά ρεύματα, I_{imp} (10/350 μ s).

2)TYPE2 (T2) – Class II, δευτερεύουσα προστασία από κρουστικά ρεύματα, I_{max} (8/20 μ s).

3)TYPE3 (T3) – Class III, λεπτή προστασία από κρουστικά ρεύματα, I_{sc} (8/20 μ s) και κρουστικές υπερτάσεις, U_{oc} (1,2/50 μ s).

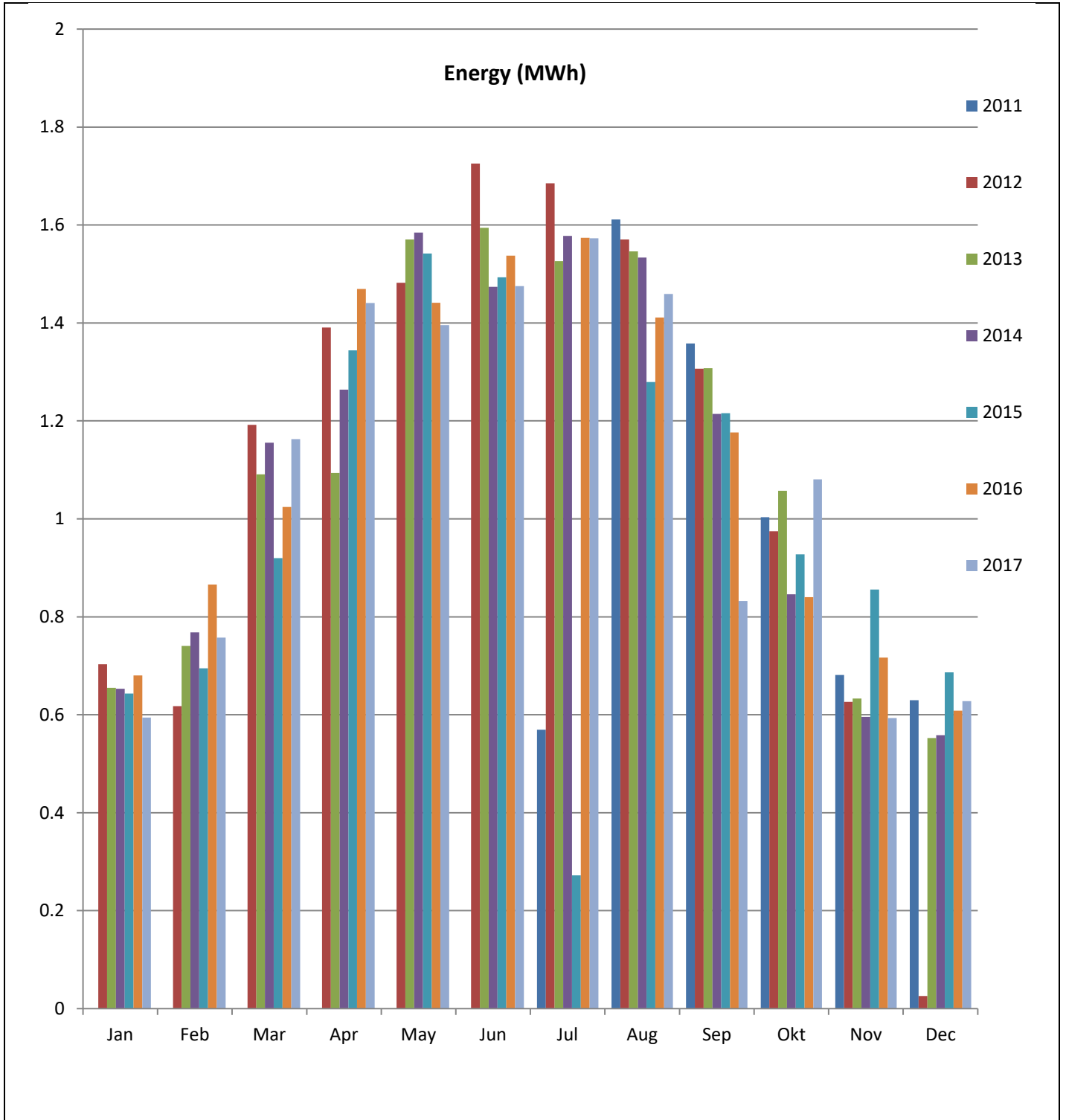
•Οι απαγωγοί T1 εγκαθίστανται συνήθως στην είσοδο της εγκατάστασης(π.χ. γενικός πίνακας παροχής), προσφέροντας προστασία από κεραυνικά ρεύματα (10/350 μ s). Έχουν στάθμη προστασίας (U_p) μικρότερη από 4kV και παρέχουν προστασία σε ανθρώπους και σε συσκευές όπως ο γενικός πίνακας και οι καλωδιώσεις.

•Οι απαγωγοί T2 εγκαθίστανται συνήθως σε διάφορα κομβικά σημεία της εγκατάστασης (π.χ. υποπίνακες) ,προσφέροντας προστασία από κρουστικά ρεύματα (8/20 μ s). Έχουν στάθμη προστασίας (U_p) μικρότερη από 2,5kV παρέχοντας προστασία σε συσκευές όπως οι υποπίνακες, οι ρευματοδότες, οι διακόπτες. Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι η συνήθης αιτία της εμφάνισης υπέρτασης τύπου (8/20 μ s)είναι η επαναφορά της τάσης από τους χειρισμούς που πραγματοποιεί η ΔΕΗ.

•Οι απαγωγοί T3 εγκαθίστανται ακριβώς πριν από την είσοδο μιας ευαίσθητης συσκευής που περιέχει ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως είναι το σύστημα τηλεμετρίας το οποίο θα εγκαταστήσουμε στο σύστημα μας, προσφέροντας λεπτή προστασία από κρουστικά ρεύματα (8/20 μ s). Έχουν στάθμη προστασίας (U_p) μικρότερη από 1,5kV και παρέχουν προστασία σε ηλεκτρονικές συσκευές. Απαραίτητη προϋπόθεση για σωστή λειτουργία των απαγωγών T3 είναι να προηγούνται απαγωγοί T2 τουλάχιστον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΤΩΝ ΑΝΑ ΜΗΝΑ



Σχήμα 4.1: Αποδιδόμενη ενέργεια για κάθε μήνα του χρόνου

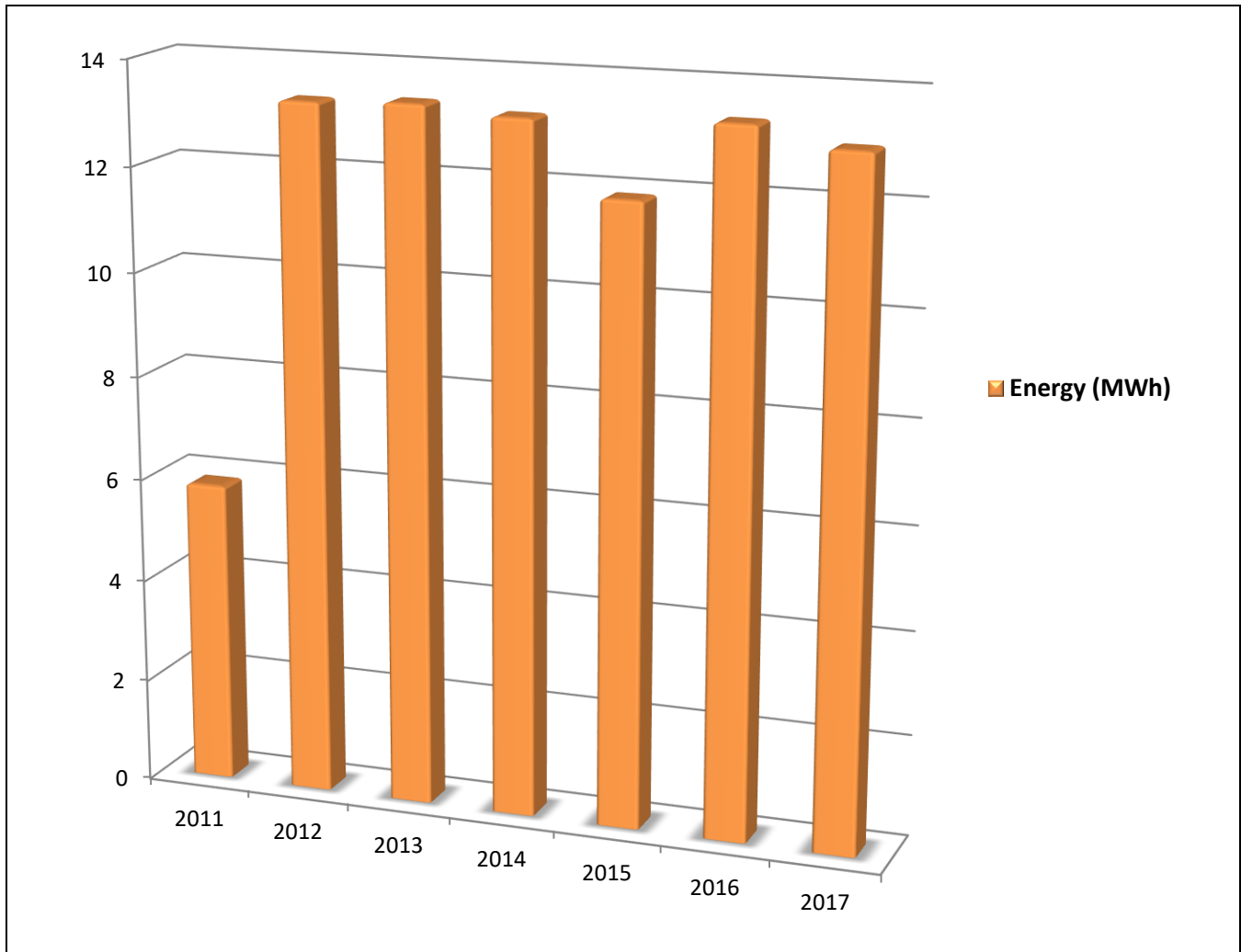
Εδώ βλέπουμε την συνολική αποδιδόμενη ενέργεια για κάθε μήνα του έτους, για όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος. Άρα μπορούμε να συγκρίνουμε αναλυτικά τις αποδόσεις κάθε μήνα για να δούμε ποιοι μήνες και σε ποιες χρονιές είχαν τις καλύτερες κλιματολογικές συνθήκες και την σωστότερη λειτουργία χωρίς σφάλματα. Συγκεκριμένα, επειδή η λειτουργία του συστήματος ξεκίνησε μέσα Ιουλίου το 2011, δεν έχουμε καμία ένδειξη για τους προηγούμενους μήνες και ο Ιούλιος δεν είναι ολοκληρωμένος για την συγκεκριμένη χρονιά. Λόγω τεχνικών προβλημάτων σφάλμα έχουμε και το Δεκέμβριο του 2012, τον Ιούλιο του 2015, τον Αύγουστο του 2015 και τον Σεπτέμβριο του 2017. Παρακάτω θα δούμε τον πίνακα με τις μέγιστες φυσιολογικές αποκλίσεις για κάθε μήνα, χωρίς να λάβουμε υπόψη μας τους μήνες που υπολειπούν ή δεν λειτουργούσε καθόλου το σύστημα, όπως προαναφέραμε.

2011-2017	E_{max} (MWh)	E_{min} (MWh)	$E_{average}$ (MWh)	Μέγιστη Απόκλιση(%)
Jan	0.7030111	0.5943846	0.6547883	18.28
Feb	0.8658654	0.6173590	0.7654581	40.25
Mar	1.1918394	0.9196477	1.0908748	29.60
Apr	1.4693795	1.0940111	1.3337973	34.31
May	1.5845755	1.3953269	1.5025941	13.56
Jun	1.7254334	1.4739186	1.5499551	17.06
Jul	1.6849214	1.5262355	1.5871492	10.40
Aug	1.6112390	1.4110318	1.5219130	14.19
Sep	1.3583545	1.1764761	1.2631754	15.46
Okt	1.0806860	0.8400604	0.9612974	28.64
Nov	0.8558619	0.5935410	0.6718857	44.20
Dec	0.6866910	0.5525463	0.6105744	24.28

Πίνακας 4.1: Απόκλιση μέγιστης και ελάχιστης αποδιδόμενης ενέργειας κάθε μήνα

Πολύ μεγάλες αποκλίσεις παρατηρούμε σε μήνες που έχουν μεγάλη διαφορά καιρικών συνθηκών και θερμοκρασίας από έτος σε έτος, όπως είναι ο Νοέμβριος και ο Φεβρουάριος με αποκλίσεις της τάξης του 40%. Τις μικρότερες αποκλίσεις παρατηρούμε τους θερινούς μήνες της τάξης του 10-15%. Ο μήνας με την μικρότερη αποδιδόμενη ενέργεια είναι ο Δεκέμβριος, με μέσο όρο αποδιδόμενης ενέργειας 0,61 MWh, ενώ ο μήνας με την μεγαλύτερη αποδιδόμενη ενέργεια είναι ο Ιούλιος.

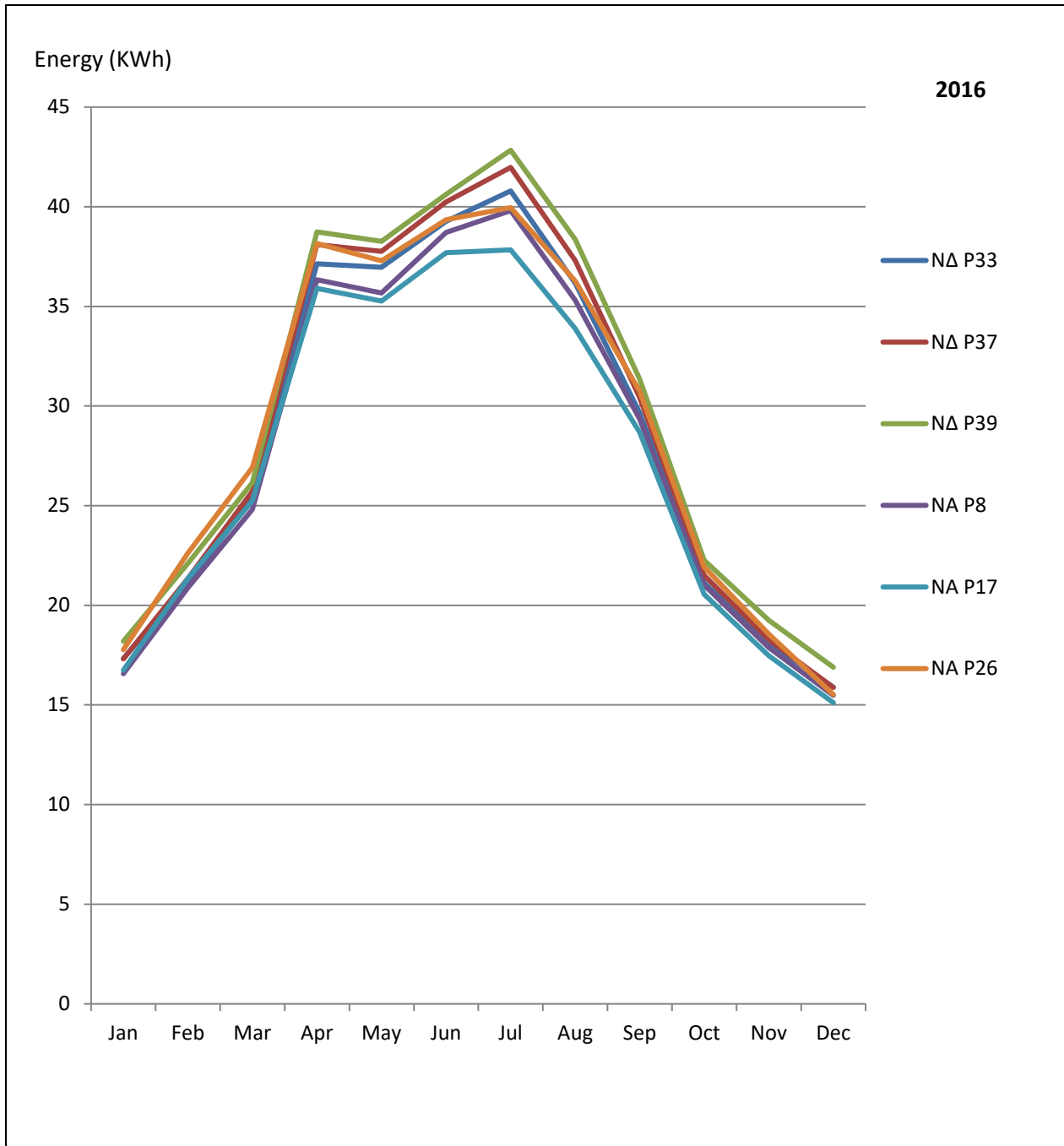
4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΚΑΣΤΟΤΕ ΕΤΟΥΣ



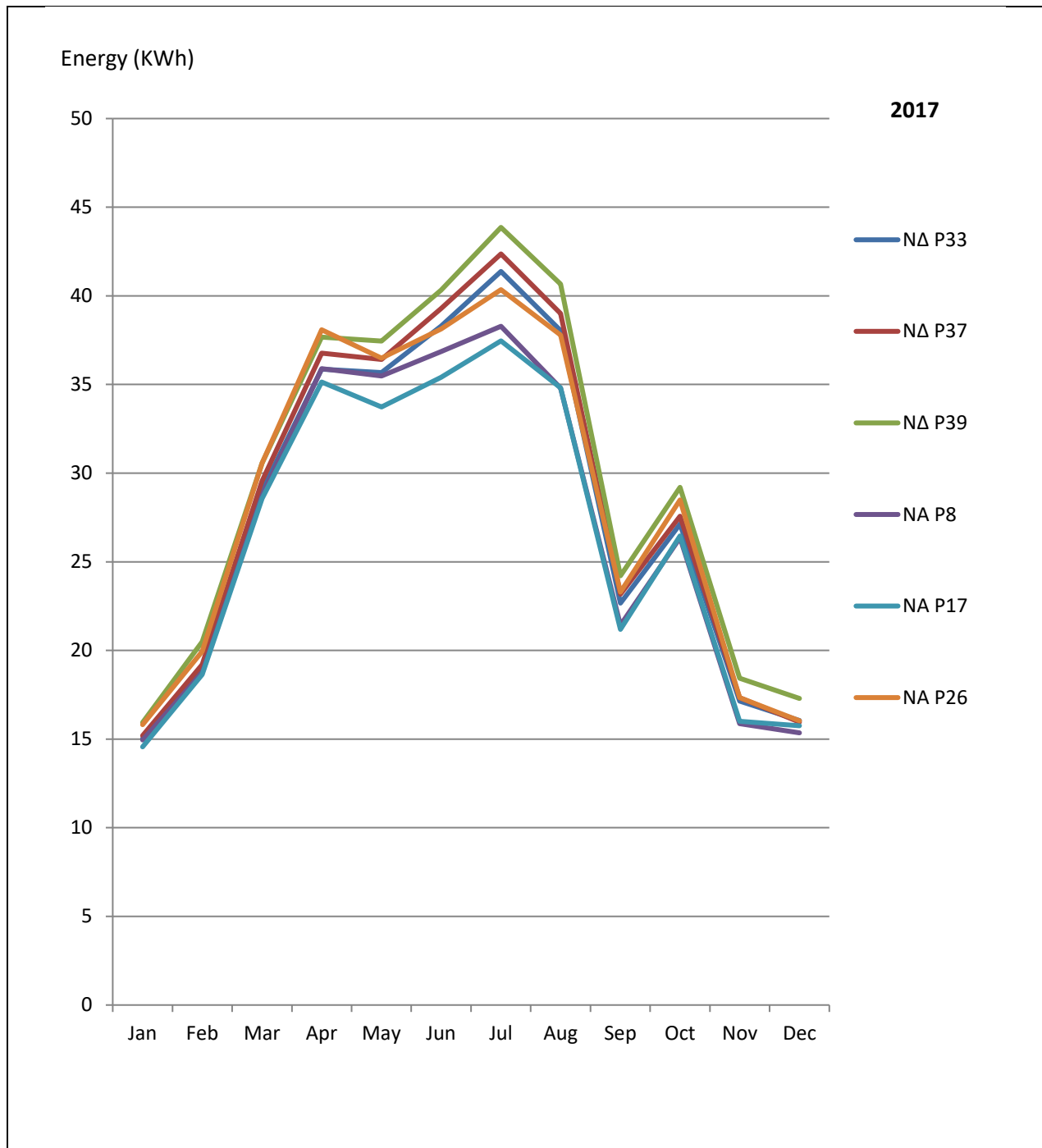
Σχήμα 4.2: Συνολική αποδιδόμενη ενέργεια για κάθε χρόνο

Στο παραπάνω σχεδιάγραμμα βλέπουμε την συνολική αποδιδόμενη ενέργεια για κάθε χρόνο από τα μέσα Ιουλίου του 2011 έως το τέλος του 2017. Παρατηρούμε ότι το 2015 το σύστημα έχει την μικρότερη αποδιδόμενη ενέργεια με 11,87 MWh, ενώ η χρονιά με την μεγαλύτερη απόδοση είναι το 2013, με ενέργεια 13,37MWh. Εκτός από το 2015, οι άλλες χρονιές έχουν πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ τους της τάξεως του 1-3 %.Ο μέσος όρος αποδιδόμενης ενέργειας όλων των χρόνων λειτουργίας, συνυπολογίζοντας και τη μη λειτουργία κάποιων μηνών, για κάθε χρόνο, τίθεται στις 13,02 MWh, ενώ η συνολική παραγόμενη ενέργεια για περίπου 6,5 χρόνια είναι 83,96 MWh. Το φαινόμενο της γήρανσης δεν φαίνεται να επιδρά καθόλου στα σχεδόν 7 χρόνια λειτουργίας.

4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ Ν/Α & Ν/Δ ΠΛΑΙΣΙΩΝ



Σχήμα 4.3: Σύγκριση αποδιδόμενης ενέργειας ΝΑ & ΝΔ πλαισίων για ένα χρόνο



Σχήμα 4.4: Σύγκριση αποδιδόμενης ενέργειας NA & ΝΔ πλαισίων για ένα χρόνο

Στα παραπάνω σχεδιαγράμματα θα δούμε την διαφορά στην ενεργειακή απόδοση μεταξύ τριών τυχαίων πλαίσια με νοτιοανατολική κατεύθυνση (NA) και αζιμούθια γωνία - 45° και τριών πλαισίων με νοτιοδυτική κατεύθυνση (ΝΔ) και αζιμούθια γωνία 40°, με ενδεικτικές μετρήσεις από μια μέρα κάθε μήνα για δυο χρόνια, έτσι ώστε να έχουμε καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Παρακάτω θα δούμε τις αποκλίσεις από τον

μέσο όρο της συνολικής παραγόμενης ενέργειας για τα ΝΑ και τα ΝΔ πλαίσια για κάθε χρόνο μετρήσεων.

2016	Μ.Ο. Ενέργειας (KWh)		Απόκλιση (%)
	ΝΔ	ΝΑ	
Jan	17.6056	17.0225	3.4
Feb	21.5371	21.6212	-0.4
Mar	25.7436	25.6563	0.3
Apr	37.9885	36.7953	3.2
May	37.6603	36.0777	4.4
Jun	40.0465	38.5838	3.8
Jul	41.8680	39.1981	6.8
Aug	37.2680	35.1525	6.0
Sep	30.4905	29.5962	3.0
Oct	21.6253	21.1629	2.2
Nov	18.5432	17.9711	3.2
Dec	16.2192	15.3740	5.5

Πίνακας 4.2: Μέγιστες αποκλίσεις ΝΑ & ΝΔ πλαισίων 2016

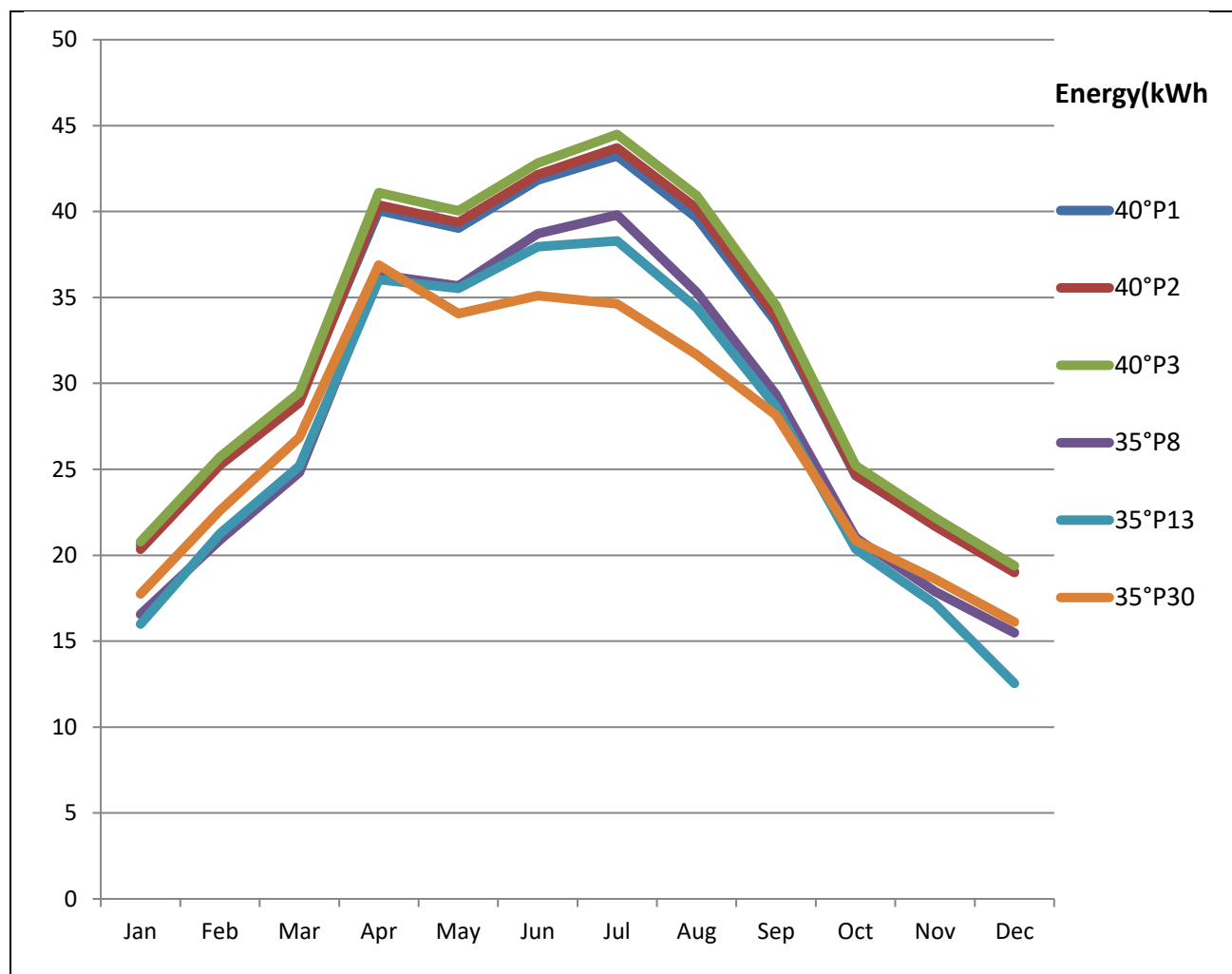
2017	Μ.Ο. Ενέργειας (KWh)		Απόκλιση (%)
	ΝΔ	ΝΑ	
Jan	15.3836	15.1088	1.8
Feb	19.5280	19.1032	2.2
Mar	29.7113	29.2834	1.5
Apr	36.7725	36.3716	1.1
May	36.5098	35.2333	3.6
Jun	39.3019	36.7931	6.8
Jul	42.5344	38.6986	9.9
Aug	39.2414	35.8053	9.6
Sep	23.3508	21.9652	6.3
Oct	27.9650	27.1058	3.2
Nov	17.6388	16.4067	7.5
Dec	16.4320	15.7177	4.5

Πίνακας 4.3: Μέγιστες αποκλίσεις ΝΑ & ΝΔ πλαισίων 2017

Τα ΝΔ πλαίσια έχουν σταθερά καλύτερη αποδοόμενη ενέργεια και για τα δυο χρόνια, εκτός από έναν μήνα που για 0,4% απόδωσαν καλύτερα τα ΝΑ πλαίσια. Το καλοκαίρι η

διαφορά αυξάνει, με κορύφωση τον Ιούλιο που έχουμε απόκλιση έως και 10%. Την περίοδο του Ιανουαρίου-Μαΐου είναι πολύ μικρή της τάξεως του 0,3- 4% η απόκλιση. Μπορεί να μην είναι πολύ μεγάλη η διαφορά, αλλά κάθε χρόνο έχουμε κέρδος κατά μέσο όρο 3,5-5%, συνεπώς είναι προτιμητέο να αναλύσουμε το αζιμούθιο για το καλύτερο δυνατόν κέρδος.

4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ 40 & 35 ΜΟΙΡΩΝ



Σχήμα 4.4: Σύγκριση αποδιδόμενης ενέργειας πλαισίων διαφορετικών κλίσεων για ένα χρόνο

Σύγκριση ΝΑ πλαισίων ανάμεσα σε τρία πλαίσια με 40° και τρία πλαίσια με 35° κλίση. Η διαφορά στη κλίση είναι λόγω της μορφολογίας της σκεπής του εγκατεστημένου συστήματος. Για την σύγκριση έχουμε πάρει μετρήσεις από μια μέρα κάθε μήνα για ένα χρόνο, όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα. Η διαφορά στην αποδιδόμενη ενέργεια είναι εμφανής για όλη την διάρκεια του χρόνου. Παρακάτω θα δούμε τις αποκλίσεις από τον μέσο όρο της αποδιδόμενης ενέργειας για τα πλαίσια με τις διαφορετικές κλίσεις.

	Μ.Ο. Ενέργειας (KWh)		Απόκλιση (%)
	40°	35°	
Jan	20.5785	16.7672	22.7
Feb	25.4758	21.5920	18.0
Mar	29.1543	25.6255	13.8
Apr	40.5129	36.4188	11.2
May	39.4863	35.0865	12.5
Jun	42.2620	37.2590	13.4
Jul	43.8094	37.5711	16.6
Aug	40.2497	33.7880	19.1
Sep	33.9872	28.7183	18.3
Oct	24.8416	20.7435	19.8
Nov	21.8794	17.8806	22.4
Dec	19.1378	14.7112	30.1

Πίνακας 4.4: Αποκλίσεις πλαισίων διαφορετικών κλίσεων

Παρατηρούμε τις μεγαλύτερες αποκλίσεις την χειμερινή περίοδο με διαφορές της τάξης του 22-30%, ενώ τις μικρότερες την άνοιξη με διαφορές της τάξης του 11-14%. Ο μέσος όρος απόκλισης της συνολικής παραγόμενης ενέργειας για όλο τον χρόνο είναι 16,9%. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι πολύ μεγάλη η διαφορά και θα ήταν αρκετά κερδοφόρο για όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος να βρούμε την βέλτιστη κλίση για όλες τις εποχές του χρόνου.

4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την εργασία αναλύσαμε τα προβλήματα που έχει ο πλανήτης και το πόσο σημαντικό είναι να στραφούμε στην λύση των ΑΠΕ και των φωτοβολταϊκών. Εξηγήσαμε για ποιους λόγους υπάρχει ακρίβεια στην αγορά των πάνελ, που όσο περνάνε τα χρόνια όμως η τεχνολογία εξελίσσεται και οι τιμές μειώνονται. Αναλύσαμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που έχει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και πολλές παραμέτρους που πρέπει να εξετάσουμε κατά τη μελέτη της εγκατάστασης ώστε να πετύχουμε την απόδοση που θέλουμε. Τις εσωτερικές παραμέτρους τις εξετάζουμε από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που μας δίνει ο κατασκευαστής για το κάθε εξάρτημα του φωτοβολταϊκού συστήματος και τις εξωτερικές τις υπολογίζουμε κάνοντας μελέτη για την κάθε περιοχή και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτή.

Η μελέτη της εργασίας έγινε σε πραγματική εγκατάσταση, συνεπώς οι τιμές αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα, με όλα τα προβλήματα που μπορεί να συναντήσει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και όχι απλά τους θεωρητικούς υπολογισμούς. Συγκεκριμένα πήραμε μετρήσεις που κάνει ο αντιστροφέας (inverter) με το σύστημα τηλεμετρίας, για 6,5 χρόνια και κάναμε τέσσερις συγκρίσεις σχετικά με την αποδιδόμενη ενέργεια.

Αρχικά, συγκρίναμε τις αποδόσεις για κάθε μήνα του χρόνου, όλων των χρόνων μεταξύ τους και παρατηρήσαμε πως από έτος σε έτος αλλάζει η απόδοση, κυρίως από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν. Είδαμε ότι οι αποκλίσεις του καλύτερου με του χειρότερου μήνα είναι της τάξης του 10-45%, ενώ η μέση απόκλιση από την μέση τιμή του κάθε μήνα είναι της τάξης του 5-20%. Στην συνέχεια είδαμε την συνολική αποδιδόμενη ισχύ για κάθε χρόνο. Παρατηρήσαμε ότι οι αποκλίσεις από χρόνο σε χρόνο είναι πολύ μικρές της τάξης του 1-3% και η μέση ετήσια απόδοση θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι πολύ καλή, αφού ανέρχεται στις 13,02 MWh. Η επόμενη σύγκριση έγινε μεταξύ νοτιοανατολικών και νοτιοδυτικών πλαισίων, δηλαδή συγκρίναμε την αξιμότητα γωνία τους και αυτό γιατί το επέβαλε ο χώρος της εγκατάστασης και δεν είχαμε την δυνατότητα απολύτως νότιου προσανατολισμού. Για να έχουμε πιο ακριβή αποτελέσματα συγκρίναμε μεταξύ τους μετρήσεις δυο χρόνων από τις δυο αυτές ομάδες των πάνελ και είδαμε ότι τα πλαίσια με νοτιοδυτικό προσανατολισμό έχουν καλύτερη απόδοση της τάξης του 3,5-5%, συνεπώς είναι σημαντικό να προσέξουμε αυτή την παράμετρο στην μελέτη της εγκατάστασης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

Τέλος, συγκρίναμε δυο ομάδες πλαισίων με κλίση 40 και 35 μοίρες, που ήταν οι κλίσεις της σκεπής της εγκατάστασης οπότε αναγκαστικά είχαμε αυτή την διαφορά. Οι μετρήσεις είχαν διάρκεια ενός χρόνου, που ήταν αρκετός γιατί η διαφορά είναι εμφανή στις μετρήσεις. Είδαμε ότι τα πλαίσια με κλίση 40 μοιρών είχαν πολύ καλύτερη απόδοση της τάξης του 17%, που είναι πολύ μεγάλη διαφορά, οπότε επαληθεύεται πλήρως η θεωρία με τις συγκρίσεις των πραγματικών μετρήσεων.

Άρα, συμπεραίνουμε ότι η επένδυση στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι κερδοφόρα, αφού έχουμε πολύ καλές ετήσιες αποδόσεις στην ενέργεια και η απόσβεση στην εγκατάσταση που πραγματοποιήθηκε η μελέτη, με πώληση της kWh περίπου στα 0,50 € η απόσβεση έγινε τα πρώτα 6 χρόνια, με μέσο ετήσιο κέρδος της τάξης των 6000 ευρώ. Στην Ελλάδα το κλίμα είναι ιδανικό για επενδύσεις στα ΑΠΕ, ανάλογα την περιοχή και η κατάλληλη επένδυση. Στις περισσότερες περιοχές της χώρας, ειδικά προς τον νότο, έχουμε ηλιοφάνεια το μεγαλύτερο διάστημα του έτους.

Το κράτος πρέπει να ευαισθητοποιηθεί σε αυτό το θέμα και να βοηθήσει περισσότερο σε τέτοιες 'πράσινες' επενδύσεις, μειώνοντας όσο μπορεί τους φόρους και κάνοντας επιδοτήσεις, ώστε να γίνουν όσο το δυνατόν περισσότερες επενδύσεις. Τα πλεονεκτήματα για την χώρα θα ήταν πολλά άλλωστε.

Αρχικά θα είχαμε ανεξαρτητοποίηση της χώρας από την ηλεκτρική ενέργεια που εισέρχεται από τις γειτονικές χώρες. Θα ανοίγανε πολλές θέσεις εργασίας και θα βελτιωνόταν η οικονομία του κράτους. Θα μειώνονταν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που λειτουργούν με λιγνίτη και κάρβουνο, γιατί όπως έχουμε αναφέρει είναι βλαβερό και για τον άνθρωπο και για το περιβάλλον. Απομακρυσμένα μέρη, όπως είναι τα νησιά, δεν θα είχαν τόσα πολλά προβλήματα με την ηλεκτροδότηση και τις διακοπές που συνεχώς υφίστανται και προκαλούν προβλήματα σε σπίτια και επιχειρήσεις. Όλα αυτά θα ήταν πολύ θετικά, αρχικά για την χώρα με τους κατοίκους της και έπειτα για τον πλανήτη και τις επόμενες γενιές, που όπως φαίνεται τα προβλήματα μεγαλώνουν και θα έχουν έλλειψη στις πρώτες ύλες που παράγουν τα ορυκτά καύσιμα και πολύ πιθανόν κλιματικές αλλαγές, με υπερθέρμανση και μορφοποίηση του πλανήτη από το λιώσιμο των πάγων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ & ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- Καγκαράκης Κωσταντίνος, «Φωτοβολταϊκή τεχνολογία», Εκδόσεις Συμμετρία, 1992
- Βασίλειος Δ.Μπιτζιώνης, Δημήτριος Β. Μπιτζιώνης, «Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας», Εκδόσεις Τζιόλα
- Κωνσταντίνος Α. Μπαλάρας, Αθανάσιος Α. Αργυρίου, Φώτης Ε. Καραγιάννης, «Συμβατικές & Ήπιες Μορφές Ενέργειας», εκδόσεις Τεκδοτική
- Stuart R Wenham, Martin A Green, Muriel E Watt, Richard Corkish, «Applied Photovoltaics», Routledge, 2013
- Η.ΔΦραγκιαδάκης, (2007), «Φωτοβολταϊκά Συστήματα», Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- «Οδηγίες για την εγκατάσταση φ/β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις» Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ΚΑΠΕ
- «Φωτοβολταϊκά, ένας πρακτικός οδηγός» Σύνδεσμος εταιρειών φωτοβολταϊκών.
- <http://www.iea-pvps.org/>
- <http://www.allaboutenergy.gr/Pages23.html>
- <https://energypress.gr/news/giati-hreiazontai-syntirisi-ta-oikiaka-fotovoltaika>
- <https://el.wikipedia.org/>
- <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- <http://fotovoltaika.blogspot.com/2011/03/i.html>
- <http://pvtech.gr/index.php/solar/net-metering>
- <http://www.oleng.eu/>
- https://www.arcmeletitiki.gr/images/uploads/pdf/arc_ape11.pdf
- <https://www.greentechmedia.com/articles/read/iea-global-installed-pv-capacity-leaps-to-303-gw#gs.OvzwIRw>
- <http://helapco.gr/>
- http://greenenergyplus.blogspot.gr/2011/08/blog-post_25.html

- <http://www.solar.com.gr/>
- <http://www.iqsolarpower.com/solararticles/educational/>
- <http://www.allaboutenergy.gr/Piges23.html>
- <http://www.ostrisolar.gr/index.php/2011-05-20-15-31-15>